



Tesis - RG-092999

**ANALISIS KERENTANAN BENCANA BANJIR
DI KABUPATEN SIDOARJO DENGAN MENGGUNAKAN
SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS DAN
PENGINDERAAN JAUH**

**HERY SETIAWAN PURNAWALI
3515.201.001**

**DOSEN PEMBIMBING:
Dr. Ing. Ir. Teguh Hariyanto, MSc.
Danar Guruh Pratomo, ST, MT, Ph.D**

**PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN GEOMATIKA
DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



Thesis - RG-092999

**FLOOD VULNERABILITY ANALYSIS
AT SIDOARJO REGENCY
USING GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM
AND REMOTE SENSING**

**HERY SETIAWAN PURNAWALI
3515.201.001**

**SUPERVISOR:
Dr. Ing. Ir. Teguh Hariyanto, MSc.
Danar Guruh Pratomo, ST, MT, Ph.D**

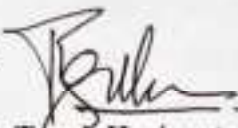
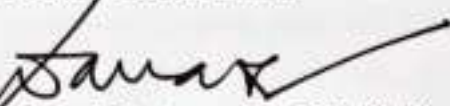


**MASTER PROGRAM
GEOMATICS EXPERTISE
DEPARTMENT OF GEOMATICS ENGINEERING
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING, ENVIRONMENT AND EARTH SCIENCES
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2018**

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknologi (MT)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:
Hery Setiawan Purnawali
NRP. 3515.201.001


Tanggal Ujian :
Periode Wisuda :

Disetujui oleh:

1. 
Dr. Ing. Ir. Teguh Hariyanto, MSc (Pembimbing)
NIP. 19590819 198502 1 001
2. 
Damar Guruh Pratomo, ST, MT, Ph.D (Pembimbing)
NIP. 19800507 200312 1 001
3. 
Dr. Ir. Muhammad Taufik (Penguji)
NIP. 19550919 198603 1 001
4. 
Mokhamad Nur Cahyadi, ST, M.Sc, Ph.D (Penguji)
NIP. 19811223 200501 1 002



Dekan Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan
Komunitas,


E.D.A. Warmadewanthi, ST, MT, PhD
NIP. 19750212 199993 2 001

KATA PENGANTAR

Puja dan puji syukur kehadirat Allah SWT kami panjatkan karena atas rahmat dan karunia-Nya, laporan tesis ini dapat terselesaikan dengan baik. Adapun tesis ini merupakan salah satu syarat kelulusan dari kuliah Program Magister Bidang Keahlian Geomatika, Jurusan Teknik Geomatika Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Laporan tesis dengan judul “Analisis Kerentanan Bencana Banjir di Kabupaten Sidoarjo dengan Menggunakan Sistem Informasi Geografis dan Penginderaan Jauh” ini membahas tentang kerentanan bencana banjir yang ada di Kabupaten Sidoarjo. Kerentanan banjir Sidoarjo dianalisis berdasarkan 7 (tujuh) parameter banjir yaitu kelerengan, curah hujan, tutupan lahan, densitas drainase, penurunan muka tanah, pasang surut, dan kenaikan muka air laut. Dari ketujuh parameter tersebut dianalisis potensi banjir di Kabupaten Sidoarjo berdasarkan sebaran waktu dan areanya. Sebaran waktu banjir dianalisis kapan waktu puncak kejadian banjir berdasarkan semua parameter yang ada, sedangkan sebaran spasial area potensi banjir dianalisis terhadap semua kecamatan di kabupaten ini. Laporan tesis terdiri dari 5 (lima) bab, terdiri dari Bab 1: Pendahuluan, Bab 2: Kajian Pustaka dan Dasar Teori, Bab 3: Metoda Penelitian, Bab 4: Hasil dan Pembahasan, dan Bab 5: Kesimpulan.

Demikian laporan tesis ini ditulis. Besar harapan agar laporan tesis ini dapat bermanfaat bagi para pembaca, baik dari kalangan mahasiswa, peneliti, pemerintah daerah, masyarakat umum dan instansi terkait. Terima kasih.

Surabaya, Januari 2018

Penulis

Hery Setiawan Purnawali

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

UCAPAN TERIMAKASIH

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Allah SWT karena atas ridho dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul “Analisis Kerentanan Bencana Banjir di Kabupaten Sidoarjo dengan Menggunakan Sistem Informasi Geografis dan Penginderaan Jauh”. Pada kesempatan ini penulis ucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dan memberikan dukungan baik moril maupun materiil sehingga laporan tesis ini dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu penulis ingin sampaikan ucapan terimakasih kepada :

1. Istri tercinta, Nurin Hidayati, ST, M.Sc dan putra tersayang, Olav Putra Setiawan, yang telah memberikan dukungan penuh kepada penulis berupa doa, motivasi dan kasih sayang serta menjadi penyemangat sehingga bisa terselesaikan tesis ini.
2. Bapak Dr. Ing. Ir. Teguh Hariyanto, MSc. selaku Dosen Pembimbing I yang dengan sabar telah memberikan dukungan penuh dalam memberikan motivasi, saran dan masukan mulai dari penulisan proposal hingga terselesaikan laporan tesis.
3. Bapak Danar Guruh Pratomo, ST, MT, Ph.D selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan saran dan masukan mulai dari penulisan proposal hingga terselesaikan laporan tesis.
4. Bapak Dr. Ir. Muhammad Taufik selaku Dosen Penguji I yang telah memberikan kritik, saran dan masukan untuk penyempurnaan laporan tesis
5. Bapak Mokhamad Nur Cahyadi, ST, M.Sc, Ph.D selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan kritik, saran dan masukan untuk penyempurnaan laporan tesis.
6. Ibu Ira Mutiara Anjasmara, ST, M.Phil, Ph.D selaku Koordinator Tesis yang telah meluangkan waktu dalam memberikan masukan dan saran dalam progres tesis.
7. Rekan-rekan satu perjuangan selama menempuh studi S2 di Teknik Geomatika yang telah memberikan semangat dan motivasi serta membantu penulis demi terselesaikannya laporan tesis.

8. Semua instansi yang telah membantu dalam penyediaan dan supporting data tesis, yaitu instansi BMKG Meteorologi Kelas II Maritim Perak Surabaya, BMKG Meteorologi Kelas I Juanda, Bappeda Kabupaten Sidoarjo, Dinas Pekerjaan Umum Cipta Karya dan Tata Ruang, Dinas Pekerjaan Umum Pengairan, serta Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kabupaten Sidoarjo.
9. Teman-teman di Teknik Geomatika ITS Surabaya serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

ANALISIS KERENTANAN BENCANA BANJIR DI KABUPATEN SIDOARJO DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS DAN PENGINDERAAN JAUH

Nama Mahasiswa : Hery Setiawan Purnawali
NRP : 3515.201.001
Pembimbing : Dr. Ing. Ir. Teguh Hariyanto, MSc.
Danar Guruh Pratomo, ST, MT, Ph.D

ABSTRAK

Banjir di Kabupaten Sidoarjo merupakan peristiwa yang terjadi hampir setiap tahun. Aplikasi SIG (Sistem Informasi Geografis) dan penginderaan jauh dalam penelitian ini digunakan untuk penyajian informasi dan pemetaan zonasi kerentanan banjir di Kabupaten Sidoarjo. Informasi kerentanan banjir meliputi sebaran spasial dan sebaran temporal kerentanan bahaya banjir. Informasi spasial direpresentasikan dalam bentuk gambar peta. Dengan mengetahui sebaran spasialnya, dapat diketahui daerah yang paling rentan, rentan dan tidak rentan banjir. Sedangkan sebaran temporal banjir dapat dipergunakan sebagai informasi waktu puncak-puncaknya kejadian banjir di Kabupaten Sidoarjo. Sehingga informasi daerah rentan banjir beserta indikatornya dapat digunakan selanjutnya oleh dinas terkait, pemerintah dan masyarakat untuk pengambilan kebijakan terkait upaya mitigasi bencana banjir. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan metode *weighted overlay* yang berbasis AHP (*Analytic Hierarchy Process*), dengan input data dari 7 (tujuh) parameter penyebab banjir, yaitu tutupan lahan, curah hujan, densitas drainase, kelerengan, penurunan muka tanah, pasang surut dan kenaikan muka air laut.

Hasil analisis diperoleh parameter penyebab banjir paling dominan di Kabupaten Sidoarjo adalah perubahan tutupan lahan, curah hujan dan densitas drainase, sementara faktor lain yang ikut menyebabkan kerentanan banjir pada masa mendatang adalah penurunan muka tanah, kelerengan, pasang surut dan kenaikan muka air laut. Sebagian wilayah Kabupaten Sidoarjo merupakan daerah rentan banjir, yaitu sebesar 49,41% dari luas wilayahnya atau seluas 605.671.655 m². Wilayah rentan banjir di Kabupaten Sidoarjo di antaranya meliputi Kecamatan Jabon, Porong, Taman, dan Kecamatan Waru. Sedangkan berdasarkan prediksi, 25 tahun mendatang luasan daerah rentan banjir meningkat secara signifikan luasannya sebesar 8,64% atau seluas 105.903.509 m², dengan perincian wilayah sangat rentan sekali bertambah 4,97% atau seluas 60.942.134 m², wilayah sangat rentan bertambah 2,49% atau seluas 30.524.550 m², dan wilayah rentan bertambah 1,18% atau seluas 14.436.824 m².

Kata kunci: **banjir, Kabupaten Sidoarjo, SIG, Penginderaan Jauh**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

FLOOD VULNERABILITY ANALYSIS AT SIDOARJO REGENCY USING GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM AND REMOTE SENSING

Student : Hery Setiawan Purnawali
Student Number : 3515.201.001
Supervisor : Dr. Ing. Ir. Teguh Hariyanto, MSc.
Danar Guruh Pratomo, ST, MT, Ph.D

ABSTRACT

Flood in Sidoarjo Regency is an event that happens almost every year. The application of GIS (Geographic Information System) and remote sensing generated in this research is used to present information on the flood-prone zoning map of Sidoarjo Regency. Flood vulnerability information includes spatial distribution and temporal distribution of flood hazard vulnerability. Spatial information is represented in map form. By knowing its spatial distribution, it can be seen that the most vulnerable areas, vulnerable and not vulnerable to flooding. While the temporal distribution of floods can be used as information during peak times of flood events in Sidoarjo Regency. So that information on flood vulnerable areas and their indicators can be used subsequently by related agencies, government and public for policy making related to flood mitigation efforts. The method used in this research is using weighted overlay method which based on AHP (Analytic Hierarchy Process), with input data from 7 (seven) flooding causing parameters. Those parameters are land cover, rainfall, drainage density, slope, land subsidence, tides, and sea level rise.

The results of this research show that the most dominant flooding parameter in Sidoarjo Regency are land cover change, rainfall, and drainage density, while other factors contributing to future flood vulnerability are land subsidence, slope, tides and sea level rise. Some areas of Sidoarjo Regency are flood-prone areas, amounting to 49.51% of the total area or an area of 584,492,212 m². The flood-prone areas in Sidoarjo include the sub-districts of Jabon, Porong, Taman, and Waru sub-districts. While based on the prediction, the next 25 years the extent of flood-prone areas increased significantly by 8.07% or 105,972,894 m², with the detail of the highly vulnerable area increased by 4.95% or 6,980,699 m², the area is very vulnerable to increase 1.69% or an area of 22,188,127 m², and the vulnerable area increased by 1.43% by 18,804,068 m².

Keywords: *flood, Sidoarjo, GIS, Remote Sensing*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

Sampul Depan	
Lembar Pengesahan	
Kata Pengantar.....	i
Ucapan Terima Kasih	iii
Abstrak	v
<i>Abstract</i>	vii
Daftar Isi	ix
Daftar Gambar	xiii
Daftar Tabel	xvii
 BAB 1 PENDAHULUAN	 1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian	3
1.3.1. Tujuan Penelitian	3
1.3.2. Manfaat Penelitian	3
1.4. Batasan Masalah.....	4
 BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	 5
2.1. Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis.....	5
2.1.1. Penginderaan Jauh.....	5
2.1.1.1. Ketelitian dan Karakteristik Citra.....	5
2.1.1.2. Koreksi Geometrik	6
2.1.1.3. Elemen Interpretasi Citra	6
2.1.1.4. Klasifikasi Data Satelit	7
2.1.2. Sistem Informasi Geografis	8
2.2. Gambaran Umum Kabupaten Sidoarjo	9
2.3. Definisi dan Pengertian Umum Banjir	11
2.4. Faktor-faktor Penyebab Banjir.....	12
2.4.1. Faktor-faktor Alami Penyebab Banjir	12
2.4.2. Faktor-faktor Penyebab Banjir Karena Tindakan Manusia	16
2.5. Penelitian Terdahulu.....	17
2.6. Banjir di Kabupaten Sidoarjo.....	18
2.7. <i>Analytic Hierarchy Process (AHP)</i>	25
2.7.1. Definisi <i>AHP</i>	25
2.7.2. Skala Persepsi Manusia	26
2.7.3. Prinsip Dasar <i>AHP</i>	27
2.7.4. Analisa dan Penyusunan Hirarki.....	27

BAB 3	METODOLOGI	29
3.1.	Tempat dan Waktu Penelitian	29
3.2.	Alat dan Bahan	29
3.2.1.	Alat	29
3.2.2.	Bahan	30
3.3.	Teknik Pengumpulan Data	31
3.4.	Metode Pengolahan Data	34
3.4.1.	Prosedur Pengolahan Data Kelerengan	34
3.4.2.	Prosedur Pengolahan Data Pasang Surut	34
3.4.3.	Prosedur Pengolahan Data Kenaikan Muka Air Laut	35
3.4.4.	Prosedur Pengolahan Data Curah Hujan	35
3.4.5.	Prosedur Pengolahan Data Tutupan lahan	36
3.4.6.	Prosedur Pengolahan Data Densitas Drainase	36
3.4.7.	Prosedur Pengolahan Data Penurunan Muka Tanah	36
3.5.	Metode Penelitian	36
3.6.	Parameter Kerawanan Banjir di Kabupaten Sidoarjo	38
3.6.1.	Kelerengan	38
3.6.2.	Curah hujan	38
3.6.3.	Tutupan lahan	39
3.6.4.	Densitas Drainase	40
3.6.5.	Penurunan Muka Tanah	40
3.6.6.	Pasang Surut	40
3.6.7.	Kenaikan muka air laut	41
3.7.	Analisis Tingkat Kerentanan dan Resiko Banjir	41
3.7.1.	<i>Analytic Hierarchy Process (AHP)</i>	41
3.7.2.	Indeks Konsistensi (<i>CI</i>) and Rasio Konsistensi (<i>CR</i>)	42
3.7.3.	Peringkat Parameter Kerentanan Banjir	43
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	45
4.1.	Analisa Parameter Kerentanan Banjir di Kabupaten Sidoarjo	45
4.1.1.	Kelerengan	45
4.1.2.	Curah Hujan	50
4.1.2.1.	Analisis Sebaran Curah Hujan Secara Temporal	50
4.1.2.2.	Analisis Sebaran Curah Hujan Secara Spasial	54
4.1.3.	Tutupan Lahan	56
4.1.3.1.	Tutupan Lahan Tahun 2005	56
4.1.3.2.	Tutupan Lahan Tahun 2017	71
4.1.3.3.	Perubahan Tutupan Lahan	85
4.1.4.	Densitas Drainase	93
4.1.5.	Penurunan Muka Tanah	95

4.1.6. Pasang Surut	98
4.1.7. Kenaikan Muka Air Laut.....	107
4.2. Analisis Kerentanan Banjir.....	110
4.3. Prediksi Banjir di Wilayah Kabupaten Sidoarjo	125
BAB 5 KESIMPULAN.....	139
5.1. Kesimpulan	139
5.2. Saran.....	139
DAFTAR PUSTAKA	141
LAMPIRAN	147

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Peta administrasi Kabupaten Sidoarjo	10
Gambar 2.2.	Pengaruh air pasang, kenaikan muka air laut dan penurunan tanah (<i>land subsidence</i>) pada fenomena banjir.....	14
Gambar 2.3.	Ilustrasi penurunan muka tanah.....	15
Gambar 2.4.	Diagram alir penentuan hipotesa penyebab banjir di Kabupaten Sidoarjo	23
Gambar 3.1.	Diagram alir prosedur penelitian	44
Gambar 4.1.	Grafik sebaran persentase kelerengan per kecamatan di Kabupaten Sidoarjo	47
Gambar 4.2.	Diagram persentase kelerengan di Kabupaten Sidoarjo	48
Gambar 4.3.	Peta kelerengan Kabupaten Sidoarjo	49
Gambar 4.4.	Grafik curah hujan rerata tertinggi tiap bulan untuk tahun 2007- 2016	51
Gambar 4.5.	Grafik sebaran rerata tertinggi curah hujan 10 tahunan (2007-2016) Kabupaten Sidoarjo.....	52
Gambar 4.6.	Grafik curah hujan rerata tertinggi tiap tahun di Kabupaten Sidoarjo	53
Gambar 4.7.	Peta sebaran curah hujan rerata 10 tahun di wilayah Kabupaten Sidoarjo	55
Gambar 4.8.	Peta Citra satelit Landsat 7 Tahun 2005	58
Gambar 4.9.	Peta Citra satelit Landsat 8 Tahun 2017	59
Gambar 4.10.	Sebaran industri di Kabupaten Sidoarjo tahun 2005	60
Gambar 4.11.	Sebaran <i>mangrove</i> di Kabupaten Sidoarjo tahun 2005.....	61
Gambar 4.12.	Sebaran perairan di Kabupaten Sidoarjo tahun 2005	62
Gambar 4.13.	Sebaran permukiman di Kabupaten Sidoarjo tahun 2005.....	63
Gambar 4.14.	Sebaran pertanian di Kabupaten Sidoarjo tahun 2005.....	64
Gambar 4.15.	Sebaran tambak di Kabupaten Sidoarjo tahun 2005.....	65
Gambar 4.16.	Sebaran tanah lapang di Kabupaten Sidoarjo tahun 2005.....	66

Gambar 4.17a. Diagram persentase perbandingan jenis tutupan lahan masing-masing kecamatan di Kabupaten Sidoarjo tahun 2005	68
Gambar 4.17b. Diagram persentase perbandingan jenis tutupan lahan masing-masing kecamatan di Kabupaten Sidoarjo tahun 2005	69
Gambar 4.18. Tutupan lahan di Kabupaten Sidoarjo tahun 2005	70
Gambar 4.19. Diagram persentase tutupan lahan di Kabupaten Sidoarjo tahun 2005.....	71
Gambar 4.20. Sebaran industri di Kabupaten Sidoarjo tahun 2017	74
Gambar 4.21. Sebaran <i>mangrove</i> di Kabupaten Sidoarjo tahun 2017.....	75
Gambar 4.22. Sebaran perairan di Kabupaten Sidoarjo tahun 2017.....	76
Gambar 4.23. Sebaran permukiman di Kabupaten Sidoarjo tahun 2017.....	77
Gambar 4.24. Sebaran pertanian di Kabupaten Sidoarjo tahun 2017.....	78
Gambar 4.25. Sebaran tambak di Kabupaten Sidoarjo tahun 2017.....	79
Gambar 4.26. Sebaran tanah lapang di Kabupaten Sidoarjo tahun 2017.....	80
Gambar 4.27a. Diagram prosentase perbandingan jenis tutupan lahan masing-masing kecamatan di Kabupaten Sidoarjo tahun 2017.....	82
Gambar 4.27b. Diagram prosentase perbandingan jenis tutupan lahan masing-masing kecamatan di Kabupaten Sidoarjo tahun 2017	83
Gambar 4.28. Tutupan lahan di Kabupaten Sidoarjo tahun 2017	84
Gambar 4.29. Diagram prosentase tutupan lahan di Kabupaten Sidoarjo tahun 2017.....	85
Gambar 4.30. Persentase perubahan tutupan lahan Kabupaten Sidoarjo tahun 2005-2017.....	89
Gambar 4.31a. Prosentase perubahan tutupan lahan per kecamatan di Kabupaten Sidoarjo periode tahun 2005-2017.....	90
Gambar 4.31b. Prosentase perubahan tutupan lahan per kecamatan di Kabupaten Sidoarjo periode tahun 2005-2017.....	91
Gambar 4.32. Peta sebaran perubahan tutupan lahan periode tahun 2005-2017	92
Gambar 4.33. Peta Densitas Drainase Kabupaten Sidoarjo	94
Gambar 4.34. Peta sebaran penurunan muka tanah per kecamatan di Kabupaten Sidoarjo	97

Gambar 4.35.	Stasiun pengamatan pasang surut di perairan Kabupaten Sidoarjo	99
Gambar 4.36.	Verifikasi data antara data tunggang pasut hasil <i>running NaoTide</i> dengan data pasut BMKG dengan menggunakan <i>Cross plot</i>	103
Gambar 4.37.	Grafik data pasang surut Perairan Sidoarjo untuk semua stasiun pengamatan antara tahun 2007-2017	104
Gambar 4.38.	Sebaran tinggi pasang surut Perairan Kabupaten Sidoarjo	106
Gambar 4.39.	<i>Global Mean Sea Level Variation</i> dari tahun 1993-2017	108
Gambar 4.40.	Peta sebaran kenaikan muka air laut perairan Sidoarjo	109
Gambar 4.41.	Diagram persentase kerentanan terhadap banjir Kabupaten Sidoarjo	115
Gambar 4.42.	Peta kerentanan banjir Kabupaten Sidoarjo	116
Gambar 4.43a.	Prosentase kerentanan banjir per kecamatan di Kabupaten Sidoarjo	123
Gambar 4.43b.	Prosentase kerentanan banjir per kecamatan di Kabupaten Sidoarjo	124
Gambar 4.44a.	Grafik <i>Trendline</i> Perubahan Tutupan Lahan Kabupaten Sidoarjo Tahun 2005-2017	127
Gambar 4.44b.	Grafik <i>Trendline</i> Perubahan Tutupan Lahan Kabupaten Sidoarjo Tahun 2005-2017	128
Gambar 4.45.	Grafik <i>Trendline</i> Penurunan Muka Tanah Kabupaten Sidoarjo	131
Gambar 4.46.	Perbandingan penurunan muka tanah tahun 2017 dan tahun 2042	132
Gambar 4.47.	<i>Global Mean Sea Level Variation</i> dari tahun 1993-2017	134
Gambar 4.48.	Prosentase luasan prediksi kerentanan banjir Kabupaten Sidoarjo tahun 2042	135
Gambar 4.49.	Prediksi kerentanan banjir di Kabupaten Sidoarjo tahun 2042 .	137
Gambar 4.50.	Perbandingan kerentanan banjir di Kabupaten Sidoarjo tahun 2017 dengan tahun 2042	138

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Faktor-faktor Penyebab Banjir.....	16
Tabel 2.2.	Penelitian Terdahulu Terkait Penelitian	17
Tabel 2.3.	Variabel-variabel yang Digunakan pada Penelitian Terdahulu	18
Tabel 2.4.	Data Waktu Terjadi Banjir dan Penyebab Banjir di Kabupaten Sidoarjo.....	19
Tabel 2.5.	Penyebab Banjir di Kabupaten Sidoarjo.....	23
Tabel 2.6.	Variabel Penyebab Banjir	24
Tabel 2.7.	Skala Dasar AHP.....	26
Tabel 3.1.	Time Schedule Tesis	29
Tabel 3.2.	Alat yang Digunakan dalam Penelitian	30
Tabel 3.3.	Bahan yang Digunakan.....	30
Tabel 3.4.	Sumber Data Parameter Kerentanan Pesisir terhadap Banjir Pasang.....	32
Tabel 3.5.	Sumber Data dan Cara Pengolahan.....	33
Tabel 3.6.	Parameter Kelerengan	38
Tabel 3.7.	Parameter Curah Hujan	39
Tabel 3.8.	Parameter Tutupan Lahan.....	39
Tabel 3.9.	Parameter Densitas Drainase	40
Tabel 3.10.	Parameter Pasang Surut.....	40
Tabel 3.11.	Parameter Kenaikan Muka Air Laut	41
Tabel 3.12.	Skala Perbandingan Berpasangan	42
Tabel 3.13.	Indeks Random Konsistensi (RI)	43
Tabel 4.1.	Sebaran Luas Klasifikasi Kelerengan Wilayah Kecamatan di Kabupaten Sidoarjo	46
Tabel 4.2.	Kelerengan di Kabupaten Sidoarjo	48
Tabel 4.3.	Luas Tutupan Lahan Masing-masing Kecamatan di Kabupaten Sidoarjo Tahun 2005	67
Tabel 4.4.	Luasan Tutupan Lahan Masing-masing Kecamatan di Kabupaten Sidoarjo Tahun 2017	81

Tabel 4.5.	Luasan Perubahan Tutupan Lahan per Kecamatan di Kabupaten Sidoarjo Tahun 2005-2017	85
Tabel 4.6.	Prosentase perubahan tutupan lahan Kabupaten Sidoarjo tahun 2005-2017	86
Tabel 4.7.	Prosentase Perubahan Lahan per Kecamatan di Kabupaten Sidoarjo Tahun 2005-2017	86
Tabel 4.8.	Perubahan Tutupan Lahan per Tahun (m2/tahun) pada Tiap Kecamatan	87
Tabel 4.9.	Perbandingan Perubahan Tutupan Lahan Kabupaten Sidoarjo Tahun 2005-2017	89
Tabel 4.10.	Densitas Drainase Kecamatan di Kabupaten Sidoarjo	93
Tabel 4.11.	Penurunan Muka Tanah di Kabupaten Sidoarjo	95
Tabel 4.12.	Data Tinggi Pasang Surut Perairan Sidoarjo pada Titik Stasiun A	100
Tabel 4.13.	Data Tinggi Pasang Surut Perairan Sidoarjo pada Titik Stasiun B	100
Tabel 4.14.	Data Tinggi Pasang Surut Perairan Sidoarjo pada Titik Stasiun C	101
Tabel 4.15.	Data Tinggi Pasang Surut Perairan Sidoarjo pada Titik Stasiun D	101
Tabel 4.16.	Data Tinggi Pasang Surut Perairan Sidoarjo pada Titik Stasiun E	101
Tabel 4.17.	Data Tinggi Pasang Surut Perairan Sidoarjo pada Titik Stasiun F	102
Tabel 4.18.	Data Tinggi Pasang Surut untuk Semua Stasiun Pengamatan.....	104
Tabel 4.19.	Kenaikan Muka Air Laut Global Tahun 1993-2017	107
Tabel 4.20.	Pembobotan Tiap Parameter Kerentanan Banjir (Factor Weight).	110
Tabel 4.21.	Ranking Parameter Kerentanan Banjir.....	111
Tabel 4.22.	Tabel Perbandingan Tertimbang (Weighted Comparison).....	111
Tabel 4.23.	Peringkat Bobot Parameter Kerentanan Banjir.....	113
Tabel 4.24.	Luasan Kerentanan Banjir Kabupaten Sidoarjo.....	115
Tabel 4.25.	Luas Kerentanan Banjir Secara Umum di Kabupaten Sidoarjo.....	115
Tabel 4.26.	Kerentanan Banjir per Kecamatan di Kabupaten Sidoarjo.....	119
Tabel 4.27.	Kejadian Banjir dan Korelasi dengan Analisa Kerentanan Banjir di Kabupaten Sidoarjo	125
Tabel 4.28.	Perbandingan Tutupan Lahan Tahun 2005 dan 2017.....	126
Tabel 4.29.	Prediksi Penurunan Muka Tanah Kabupaten Sidoarjo Menggunakan Trendline Formula.....	130

Tabel 4.30. Kenaikan Muka Air Laut Global Tahun 1993-2017	133
Tabel 4.31. Luasan Prediksi Kerentanan Banjir Kabupaten Sidoarjo Tahun 2042	135
Tabel 4.32. Perbandingan Luasan Wilayah Rentan Banjir Tahun 2017 dan 2042	136

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Wilayah Kabupaten Sidoarjo terbentuk dari proses endapan aluvial pantai dan delta sungai serta bentuk reliefnya merupakan kombinasi medan dataran dan medan bergelombang. Dengan melihat kondisi tersebut maka pada tahun 1969 wilayah Kabupaten Sidoarjo direncanakan sebagai wilayah irigasi teknik dengan luas sekitar 26.000 Ha. Namun seiring dengan pengembangan wilayah Kabupaten Sidoarjo menjadi daerah industri, maka luas sawah menjadi berkurang sebab sebagian lahan sawah dijadikan daerah pemukiman dan industri. Akan tetapi pembangunan gedung-gedung dan jalan raya serta bangunan fasilitas penunjang lainnya tidak diimbangi dengan pembangunan sarana dan prasarana drainase yang memadai. hal tersebut dapat mengakibatkan respon kawasan konservasi terhadap masukan air hujan semakin rendah dan berpotensi terjadinya banjir atau genangan (BBWS Brantas, 2011).

Musim penghujan hampir menjadi permasalahan di berbagai daerah. Berita tentang banjir selama musim penghujan selalu menjadi topik di beberapa media sosial. Sebagai contoh, di Kabupaten Sidoarjo persoalan banjir selalu menjadi masalah sepanjang tahun. Dari data BNPB (2016), banjir merupakan bencana alam yang paling sering terjadi di Kabupaten Sidoarjo. Banjir yang terjadi pada umumnya ketika musim hujan. Pada tahun 2014, Kabupaten Sidoarjo terkena banjir dan genangan dengan ketinggian lebih dari 30 cm dengan lama genangan lebih dari 2 jam adalah Kecamatan Waru, Gedangan, Taman, Krian, Buduran, Sukodono, dan Sedati (Jawa Pos, 2014).

Perencanaan pembangunan di kawasan rawan bencana banjir yang sangat matang memang sangat diperlukan guna meminimalisir kerugian yang ditimbulkannya. Salah satu contoh kerugian banjir Sidoarjo adalah ketika pada tahun 2016, akibat banjir yang merendam beberapa wilayah di Sidoarjo, juga merendam jalur KA di ruas Porong, Sidoarjo. Akibat banjir yang merendam selama beberapa hari, PT KAI Daop VIII Surabaya mengalami kerugian berupa penurunan

pendapatan hingga 1,5 milyar. Penghitungan didapatkan berdasarkan rata-rata potensi pendapatan harian 3-4 milyar, sehingga bisa dihitung kerugian selama beberapa hari banjir tersebut. Beberapa kerugian di antaranya berasal dari pembatalan tiket, pembatalan perjalanan beberapa rute KA, pengalihan moda transportasi dengan mengalihkan penumpang dengan menggunakan bus, dengan sewa bus rata-rata 10 bus per hari, serta perbaikan prasarana di sekitar rel (Berita Jatim, 13 Februari 2016). Contoh lain kerugian akibat banjir di Sidoarjo bisa dilihat pada banjir 13 Januari 2017, banjir yang menggenangi wilayah Jabon dan sekitarnya mengakibatkan kerugian milyaran rupiah. Banjir menjebol 200 Ha area tambak siap panen, hingga mengakibatkan ikan dalam tambak terbawa arus banjir (Berita Jatim, 13 Januari 2017).

Salah satu usaha pencegahan kerugian yang diakibatkan banjir, yang dapat dilakukan yaitu dengan memetakan daerah yang rawan bencana banjir ke dalam suatu tingkatan. Pemetaan ini sangat penting untuk dilakukan guna pengambilan berbagai kebijakan pembangunan, seperti pengembangan lahan konservasi, pembuatan atau penempatan lahan permukiman, pembuatan tanggul, dan kebijakan-kebijakan lain. Pemetaan dilakukan dengan memperhatikan ketelitian spasial dan temporal. Data spasial diperlukan untuk mengetahui sebaran daerah banjir, sedangkan data temporal diperlukan untuk mengetahui periode banjir di Kabupaten Sidoarjo.

Sistem Informasi Geografi (SIG) dan Penginderaan Jauh (PJ) sebagai ilmu dan teknologi, mampu memberikan suatu bentuk pengelolaan dan analisa data spasial dalam jumlah yang besar. SIG dapat dimanfaatkan untuk menentukan model dengan data terpilih sehingga pandangan dan pengetahuan para penggunanya tentang persoalan yang dihadapi mendekati kenyataan di lapangan, dan dengan SIG pemetaan daerah rawan banjir dapat dilakukan. Adanya sistem ini diharapkan nantinya tingkat bahaya banjir di Kabupaten Sidoarjo dapat dipetakan dan bisa diprediksikan setidaknya sampai 25 tahun ke depan.

1.2. Rumusan Masalah

Kabupaten Sidoarjo merupakan kabupaten yang hampir tiap tahun selalu dilanda bencana banjir dengan kerugian yang tidak sedikit apabila dihitung

kerugian secara moril dan materiil. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian dengan rumusan masalah berupa:

1. Penyebab utama bencana banjir pasang di Kabupaten Sidoarjo;
2. Di mana saja wilayah atau sebaran kerentanan bencana banjir di Kabupaten Sidoarjo;
3. Kondisi wilayah Kabupaten Sidoarjo di masa yang akan datang.

1.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Adapun tujuan dan manfaat penelitian bisa dilihat seperti pada penjelasan berikut ini.

1.3.1. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat data dasar berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk pemetaan wilayah rentan banjir di Kabupaten Sidoarjo;
2. Memetakan wilayah rentan banjir berdasarkan parameter kerentanan banjir di Kabupaten Sidoarjo;
3. Membuat model prediksi wilayah rentan banjir di Kabupaten Sidoarjo.

1.3.2. Manfaat Penelitian

Penelitian ini mempunyai beberapa manfaat, di antaranya yaitu:

1. Manfaat teoritis

Secara teoritis, penelitian ini mempunyai beberapa manfaat di bidang keilmuan, di antaranya adalah tentang:

- a. Penyebab utama bencana banjir di Kabupaten Sidoarjo;
- b. Wilayah rentan banjir di Kabupaten Sidoarjo;
- c. Prediksi wilayah rentan banjir di Kabupaten Sidoarjo.

2. Manfaat praktis

Secara praktis, penelitian ini mempunyai manfaat bagi beberapa pihak, di antaranya adalah:

a. Peneliti

Peneliti bisa mendapatkan manfaat dari penelitian ini, di antaranya adalah:

- Dapat menambah wawasan terutama terkait bencana banjir;

- Dapat menyebarluaskan dalam kaitan bencana banjir di Kabupaten Sidoarjo.

b. Pemerintah

Pemerintah bisa mendapatkan manfaat dari penelitian ini, di antaranya adalah:

- Sebagai kajian untuk perencanaan wilayah yang berbasis kebencanaan;
- Sebagai data kebencanaan yang bisa dimanfaatkan untuk berbagai kepentingan terutama terkait kebijakan dan perencanaan pengembangan dan pembangunan wilayah.

c. Masyarakat

Masyarakat bisa mendapatkan manfaat dari penelitian ini, di antaranya adalah:

- Bisa mengetahui penyebab banjir di Kabupaten Sidoarjo;
- Bisa mengetahui daerah yang rentan banjir di Kabupaten Sidoarjo;
- Bisa mengetahui daerah yang berpotensi terkena banjir di Kabupaten Sidoarjo.

1.4. Batasan Masalah

Pada penelitian ini, penyebab banjir yang digunakan sebagai bahan kajian dalam analisa kerentanan bencana banjir dan untuk prediksi banjir di masa datang adalah berdasarkan faktor-faktor alami penyebab banjir, yaitu curah hujan, kelerengan tanah, pasang surut, kenaikan muka air laut, penurunan muka tanah, densitas drainase, dan tutupan lahan. Sedangkan faktor penyebab dari banjir karena tindakan manusia menjadi batasan dalam kajian penelitian ini, sehingga bukan merupakan bahasan dalam penelitian ini.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis

Pemanfaatan penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG) sangat bervariasi. Pada aplikasi praktisnya, sering dimanfaatkan untuk upaya mitigasi bencana.

2.1.1. Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh adalah ilmu untuk memperoleh informasi terhadap objek, daerah atau fenomena melalui analisis dan interpretasi tanpa menyentuh langsung objek (Puturuhi, 2015). Pada pengertian lain, penginderaan jauh bisa didefinisikan sebagai ilmu-teknik-seni untuk memperoleh informasi atau data mengenai kondisi fisik suatu benda atau objek, target, sasaran, maupun daerah dan fenomena tanpa menyentuh atau kontak langsung dengan benda atau target tersebut (Soenarmo, 2009).

2.1.1.1. Ketelitian dan Karakteristik Citra

Data penginderaan jauh harus memperhatikan ketelitian yang dimiliki, yaitu ketelitian spasial, spektral, radiometrik, dan temporal (Indarto, 2014).

a. Ketelitian Spasial

Ketelitian spasial suatu citra dinyatakan dengan jumlah piksel per milimeter. Ketelitian ini dinyatakan sebagai luas wilayah di permukaan tanah yang dicakup oleh satu piksel.

b. Ketelitian Spektral

Ketelitian spektral didefinisikan sebagai kemampuan atau sensitivitas sensor untuk membedakan radiasi elektromagnetik yang terekam pada frekuensi yang berbeda. Semakin sensitif suatu sensor dalam menangkap dan menguantifikasi interval kecil dari panjang gelombang, semakin tinggi ketelitian spektral sensor tersebut.

c. Ketelitian Radiometrik

Ketelitian radiometrik menyatakan kemampuan untuk membedakan atau menangkap perbedaan energi elektromagnetik yang sangat tipis. Semakin tinggi

ketelitian radiometrik suatu sensor, semakin sensitif deteksi perbedaan kecil energi elektromagnetik yang dipantulkan atau diemisikan.

d. Ketelitian Temporal

Ketelitian temporal berkaitan dengan frekuensi data yang dihasilkan oleh satelit dalam satuan waktu tertentu. Data penginderaan jauh diperoleh dengan interval waktu tertentu. Ketelitian temporal juga sangat penting dipertimbangkan pada aplikasi penginderaan jauh. Ketelitian ini merupakan waktu yang dibutuhkan oleh suatu sistem satelit untuk memotret wilayah yang sama, pada sudut penglihatan yang sama.

2.1.1.2. Koreksi Geometrik

Pada umumnya, setiap data satelit mempunyai penyimpangan posisi geometri, khususnya pada satelit yang beresolusi sedang atau rendah, sehingga perlu dilakukan koreksi geometrik untuk meminimalkan tingkat penyimpangan sebelum data satelit tersebut diolah.

2.1.1.3. Elemen Interpretasi Citra

Citra satelit yang digunakan sebagai data penginderaan jauh dilakukan proses interpretasi, yaitu penilaian data secara kualitatif yang dilihat secara visual atau bersifat semantik, obyek apa yang ada di permukaan bumi yang diamati/dilihat, apakah obyek tersebut mengalami perubahan dan mengapa terjadi perubahan tersebut (Sukojo, 2012). Menurut Sukojo (2012), kunci interpretasi di adalah sebagai berikut:

1. Bentuk (*form*)

Yang dimaksud dengan bentuk adalah lebih bersifat bentuk geometri seperti lingkaran, segi empat, segitiga, elips, dan sebagainya;

2. Pola (*pattern*)

Yang dimaksud dengan pola adalah lebih bersifat gabungan dari beberapa bentuk dari obyek tersebut seperti jala (*net*), radial, diametral, dan sebagainya;

3. Warna/corak (*color/tune*)

Yang dimaksud dengan warna/corak adalah lebih bersifat warna alami seperti merah, hijau, biru, kuning, dan sebagainya. Sedangkan corak dinyatakan dengan derajat keabuan (*grey scale*) seperti 0% (putih), 100% (hitam), dan sebagainya;

4. Posisi (*site*)

Yang dimaksud dengan posisi adalah lebih bersifat letak relatif di permukaan bumi, seperti di daerah pegunungan, dekat pantai, di tengah kota, dan sebagainya;

5. Ukuran (*size*)

Yang dimaksud dengan ukuran adalah lebih bersifat dimensi obyek yang dinyatakan secara kualitatif, seperti besar, kecil, sedang, atau dinyatakan secara kuantitatif dengan numerik (1, 2, 3, ...) dan satuan (meter, kilometer, derajat, dsb);

6. Struktur (*structure*)

Yang dimaksud dengan struktur adalah lebih bersifat bentuk dan rangkaiannya seperti teratur dan tidak teratur;

7. Tekstur (*texture*)

Yang dimaksud dengan tekstur adalah lebih bersifat ikatan antar elemen pembentuk obyek, seperti halus, kasar, dan sebagainya.

2.1.1.4. Klasifikasi Data Satelit

Cara atau metode klasifikasi data satelit dengan melakukan interpretasi (Sukojo, 2012) dapat dilakukan dalam beberapa cara, yaitu:

1. Supervisi

Yaitu apabila obyek di permukaan bumi itu sudah dikenal oleh pengamat/penilai, baik secara langsung di lapangan atau didapatkan dari data sekunder/statistik (peta, tabel, laporan, dan sebagainya);

2. Non supervisi

Yaitu apabila obyek di permukaan bumi itu tidak/belum dikenal oleh pengamat/penilai, baik secara langsung di lapangan atau didapatkan dari data sekunder/statistik (peta, tabel, laporan, dan sebagainya), jadi hanya didasarkan perkiraan atau asumsi saja.

3. Visual

Yaitu apabila pengamat/penilai menentukan obyek tersebut dengan melihat langsung tanpa bantuan komputer, sehingga di sini hasilnya bersifat subyektif

dan sangat bergantung kepada kepakaran pengamat/penilai, sedangkan sebagai alat bantu digunakan tujuh kunci interpretasi;

4. Statistik

Yaitu apabila pengamat/penilai menentukan obyek tersebut dengan menginterpretasikan/menganalisa nilai (maksimum, minimum, tengah, simpangan) dan grafik (histogram 3 band, *scatter 2 band*) statistik obyek tersebut yang diperoleh dengan bantuan komputer sesuai dengan karakter dari band citra yang digunakan, sehingga di sini hasilnya bersifat obyektif dan tidak bergantung kepada kepakaran pengamat/penilai.

Soenarmo (2009) membagi teknik dasar pengolahan citra melalui 3 cara, yaitu:

1. Pengolahan citra secara manual;
2. Pengolahan citra secara digital;
3. Pengolahan citra secara gabungan (manual dan digital).

2.1.2. Sistem Informasi Geografis

Sistem Informasi Geografis (SIG) adalah sistem berbasis komputer yang digunakan untuk menyimpan, memanipulasi, dan menganalisis data atau informasi geografi (Puturu, 2015). Basis data SIG merupakan kumpulan data yang saling berkaitan, yang diperlukan dalam SIG, baik data spasial (keruangan) maupun non spasial. Basis data didefinisikan sebagai suatu kumpulan file yang mempunyai kaitan antara file satu dengan file yang lain, sehingga membentuk satu bangunan data untuk menginformasikan sesuatu seperti wilayah, organisasi, perusahaan, instansi, dalam batasan tertentu (Soenarmo, 2009).

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pengelolaan basis data SIG (Soenarmo, 2009) di antaranya adalah:

1. Entitas;
2. Atribut;
3. Nilai data;
4. *Record*;
5. *File*;
6. Struktur data.

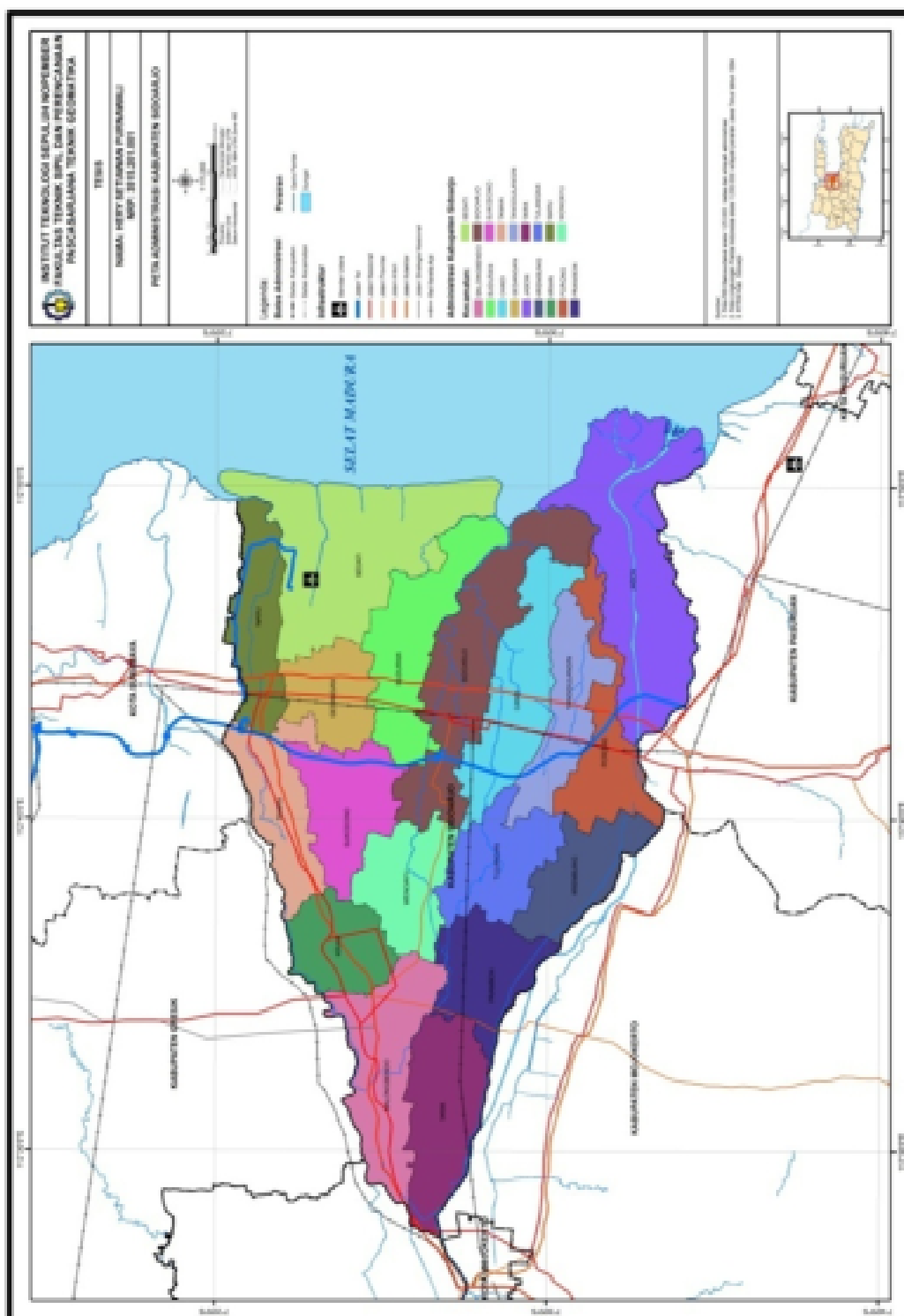
2.2. Gambaran Umum Kabupaten Sidoarjo

Wilayah Kabupaten Sidoarjo terdiri dari 18 kecamatan, yaitu meliputi Kecamatan Sidoarjo, Balongbendo, Buduran, Candi, Gedangan, Jabon, Krembung, Krian, Prambon, Porong, Sedati, Sukodono, Taman, Tanggulangin, Tarik, Tulangan, Waru dan Wonoayu. Wilayah administrasi Kabupaten Sidoarjo terdiri dari wilayah daratan dan wilayah lautan. Luas wilayah daratan sekitar 714,245 km² sedangkan luas wilayah lautan sekitar 201,687 km². Kabupaten Sidoarjo terletak antara 112°5' dan 112°9' Bujur Timur dan antara 7°3' dan 7°5' Lintang Selatan (Pemerintah Kabupaten Sidoarjo, 2016). Kabupaten Sidoarjo mempunyai batas-batas wilayah seperti yang terlihat pada Gambar 2.1, yaitu sebagai berikut:

- a. Batas sebelah utara : Kota Surabaya dan Kabupaten Gresik;
- b. Batas sebelah selatan : Kabupaten Pasuruan dan Kabupaten Mojokerto;
- c. Batas sebelah timur : Selat Madura;
- d. Batas sebelah barat : Kabupaten Mojokerto.

Topografi Kabupaten Sidoarjo berupa dataran delta dengan ketinggian antara 0-25 m, ketinggian 0-3 m dengan luas 19.006 Ha, meliputi 29,99% merupakan daerah pertambakan yang berada di wilayah bagian timur. Wilayah bagian tengah yang berair tawar dengan ketinggian 3-10 m dari permukaan laut, yang meliputi 40,81% adalah merupakan daerah pemukiman, perdagangan, dan pemerintahan. Wilayah bagian barat dengan ketinggian 10-25 m dari permukaan laut merupakan daerah pertanian, meliputi luasan sebesar 29,20%. Sedangkan hidrogeologinya terdiri atas daerah air tanah, payau, dan air asin mencapai luas 16.312,69 Ha. Kedalaman air tanah rata-rata 0-5 m dari permukaan tanah.

Kabupaten Sidoarjo terletak diantara dua aliran sungai yaitu Kali Surabaya dan Kali Porong yang merupakan cabang dari Kali Brantas yang berhulu di Kabupaten Malang. Beriklim tropis dengan dua musim, yaitu musim kemarau pada bulan Juni sampai bulan Oktober dan musim hujan pada bulan November sampai bulan Mei. Struktur tanah kabupaten ini berupa aluvial kelabu seluas 6.236,37 Ha; campuran antara aluvial kelabu dan aluvial coklat seluas 4.970,23 Ha; aluvial hidromart seluas 29.346,95 Ha; dan gromosal kelabu tua seluas 870,70 Ha (Pemerintah Kabupaten Sidoarjo, 2016).



Gambar 2.1. Peta administrasi Kabupaten Sidoarjo

2.3. Definisi dan Pengertian Umum Banjir

Banjir berdasarkan definisi dari *Multilingual Technical Dictionary on Irrigation and Drainage* yang dikeluarkan oleh *International Commission on Irrigation and Drainage* (Puturuhu, 2015) dapat diberi batasan sebagai laju aliran di sungai yang relatif lebih tinggi dari biasanya; genangan yang terjadi di dataran rendah; kenaikan, penambahan, dan melimpasnya air yang tidak biasanya terjadi di daratan. Banjir dapat dibagi menjadi 2 (dua) macam peristiwa yaitu banjir/genangan yang terjadi pada daerah yang biasanya tidak terjadi banjir dan peristiwa banjir terjadi karena limpasan air banjir dari sungai karena debit banjir lebih besar dari kapasitasnya (Lockwood, 1987 dalam Kodoatie dan Sugiyanto, 2002). Peristiwa banjir itu sendiri sebenarnya tidak menjadi permasalahan apabila tidak mengganggu aktivitas manusia dalam melakukan kegiatan pada daerah banjir. Oleh karena itu, perlu pengaturan dataran banjir, yang bertujuan untuk mengurangi kerugian akibat banjir. Jadi dengan kata lain peristiwa banjir tidak akan menjadi masalah atau bukan merupakan bencana alam (*natural hazard*) tatkala banjir tersebut tidak mengganggu atau merugikan bagi manusia dan lingkungan sekitar.

Pada umumnya indikator penyebab banjir adalah karena intensitas curah hujan yang relatif tinggi terutama di daerah hulu, daerah rawan banjir/genangan pada umumnya merupakan daerah rendah, meluapnya air pada saluran drainase akibat tingginya muka air banjir pada sungai utama (pengaruh backwater), kurang memadainya saluran drainase yang merupakan saluran irigasi yang sudah dialihfungsikan sebagai saluran drainase (muka air saluran lebih tinggi dari muka tanah sekitarnya), pasang air laut yang bersamaan dengan datangnya debit banjir pada sungai, serta adanya penyempitan pada ruas penampang sungai, perubahan fungsi lahan di daerah hulu DAS yang cenderung mempercepat lajunya aliran permukaan (*surface run off*) (Kodoatie dan Sugiyanto, 2002).

Di Indonesia banjir pada umumnya dapat diklasifikasikan ke dalam 3 macam, yaitu:

1. Banjir sebagai akibat meluapnya sungai (banjir limpasan)

Banjir ini terjadi karena kapasitas saluran/sungai tidak mampu menampung debit air yang ada sehingga air meluap keluar melewati tanggul sungai. Pada daerah perkotaan bisa juga disebabkan karena kapasitas drainase/saluran air tidak

mampu menampung air hujan seiring dengan pertumbuhan kota, atau rusaknya sistem hidrologi di daerah hulu, sehingga menimbulkan “banjir kiriman”.

2. Banjir Lokal

Banjir lokal/genangan umumnya terjadi karena tingginya intensitas hujan dalam periode waktu tertentu, yang dapat menggenangi daerah yang relatif rendah (ledokan) dan belum tersedianya sarana drainase yang memadai. Banjir lokal ini bersifat setempat, sesuai dengan atau seluas kawasan sebaran hujan lokal. Banjir ini akan semakin parah, karena saluran drainase yang tidak berfungsi optimal yang di sana-sini tersumbat sampah, sehingga mengurangi kapasitas penyaluran.

3. Banjir yang disebabkan oleh pasang surut air laut (banjir rob)

Banjir ini terjadi karena naiknya air laut pada daerah dataran alluvial pantai yang letaknya lebih rendah atau berupa cekungan dan terdapat muara sungai dengan anak-anak sungainya sehingga bila terjadi pasang air laut atau “rob” maka air laut atau air sungai akan menggenangi daerah tersebut. Banjir ini dapat terjadi pada musim hujan maupun musim kemarau (Yusuf, 2005 dalam Wardati, 2010).

Banjir alami umumnya akan melanda daerah yang mempunyai topografi cekung hingga datar dan umumnya daerah tersebut terletak di dataran rendah. Kawasan dataran rendah tersebut selain merupakan daerah sasaran banjir juga merupakan daerah yang sangat potensial untuk berbagai prasarana pembangunan dan pengembangan bagi sebagian sektor kehidupan manusia, seperti permukiman, perdagangan, industri dan pertanian.

2.4. Faktor-faktor Penyebab Banjir

Banjir itu sendiri disebabkan oleh banyak faktor. Namun secara umum penyebab terjadinya banjir diklasifikasikan dalam 2 kategori, yaitu banjir yang disebabkan oleh sebab-sebab alami dan banjir yang diakibatkan oleh tindakan manusia (Kodoatie dan Sugiyanto, 2002).

2.4.1. Faktor-faktor Alami Penyebab Banjir

Sebab-sebab banjir yang tergolong sebab alami antara lain:

1. Curah hujan

Indonesia merupakan negara yang beriklim tropis, dengan 2 (dua) musim musim hujan dan musim kemarau. umumnya terjadi antara bulan Oktober

sampai bulan Maret, dan musim kemarau yang berlangsung antara bulan April sampai bulan September. Pada musim penghujan, curah hujan yang tinggi akan mengakibatkan banjir di sungai bilamana air yang turun melebihi tebing/tanggul sungai maka akan timbul banjir atau genangan.

2. Pengaruh fisiografi/geofisik sungai

Fisiografi atau geografi fisik sungai seperti bentuk, fungsi dan kemiringan daerah pengaliran sungai (DPS), kemiringan sungai, geometrik hidrolis (bentuk penampang seperti lebar, kedalaman, potongan memanjang, material dasar sungai), lokasi sungai, dan lain-lain. Fisiografi tersebut merupakan hal-hal yang mempengaruhi terjadinya banjir.

3. Kapasitas sungai

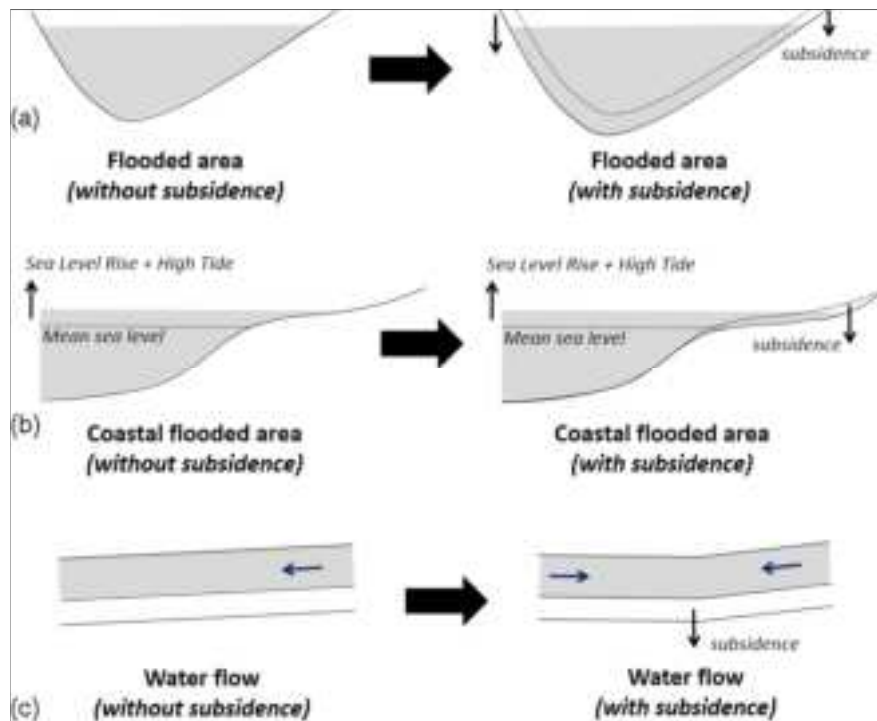
Pengurangan kapasitas aliran banjir pada sungai dapat disebabkan oleh pengendapan berasal dari erosi DPS dan erosi tanggul sungai yang berlebihan dan sedimentasi di sungai itu karena tidak adanya vegetasi penutup dan adanya penggunaan lahan yang tidak tepat.

4. Pengaruh air pasang

Pasang surut merupakan fenomena pergerakan permukaan air laut yang disebabkan oleh gaya tarik benda langit terutama bulan dan matahari terhadap massa air di bumi. Hal ini mempengaruhi pergerakan aliran massa air terutama di daerah muara sungai. Meskipun massa bulan jauh lebih kecil daripada massa matahari, pengaruh gaya tarik bulan terhadap bumi lebih besar daripada gaya tarik matahari. Hal ini terjadi karena jarak bulan terhadap bumi lebih dekat dibandingkan dengan jarak matahari terhadap bumi, sehingga gaya tarik bulan bisa mencapai 2,2 kali lebih besar daripada gaya tarik matahari dalam memengaruhi pasang surut. Pasang surut yang terjadi di bumi terbagi menjadi 3 jenis, yaitu pasang surut atmosfer (*atmospheric tide*), pasang surut laut (*ocean tide*), dan pasang surut bumi (*boily tide*). Pembagian pergerakan pasang surut ini dikarenakan pergerakan pasang surut yang diakibatkan oleh perubahan gerak relatif dan materi suatu planet, bintang dan benda angkasa di luar materi tersebut berada. Air pasang laut memperlambat aliran sungai ke laut. Pada waktu banjir bersamaan dengan air pasang yang tinggi maka tinggi genangan atau banjir menjadi besar karena terjadi aliran balik (*backwater*).

Kenaikan muka air laut sebagai akibat dari perubahan iklim global mulai dirasakan ekstim sejak abad ke-20. Kondisi muka air laut tersebut dapat dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu peningkatan temperatur air laut dan perubahan massa air laut. Dengan mempertimbangkan kondisi geografis dan topografi Indonesia sebagai negara kepulauan, maka dapat diketahui bahwa Indonesia memiliki kerentanan yang sangat tinggi terhadap berbagai dampak dari fenomena perubahan iklim, khususnya kenaikan muka air laut (Isfandiari, 2012).

Seiring dengan meningkatnya aktivitas manusia, maka gas rumah kaca akan meningkat yang menyebabkan pemanasan global sehingga mengakibatkan terjadinya kenaikan muka air laut. Menurut Gortniz (1991), secara global kenaikan permukaan laut diprediksi berkisar antara 0,3-0,9 m/tahun pada abad berikutnya. Hal ini disebabkan oleh gas rumah kaca yang akan membahayakan populasi manusia, kota-kota, pelabuhan, dan dataran rendah daerah pantai melalui genangan maupun erosi, yang nantinya bisa berpengaruh terhadap tingkat kerentanan wilayah pantai, terutama di wilayah kajian.



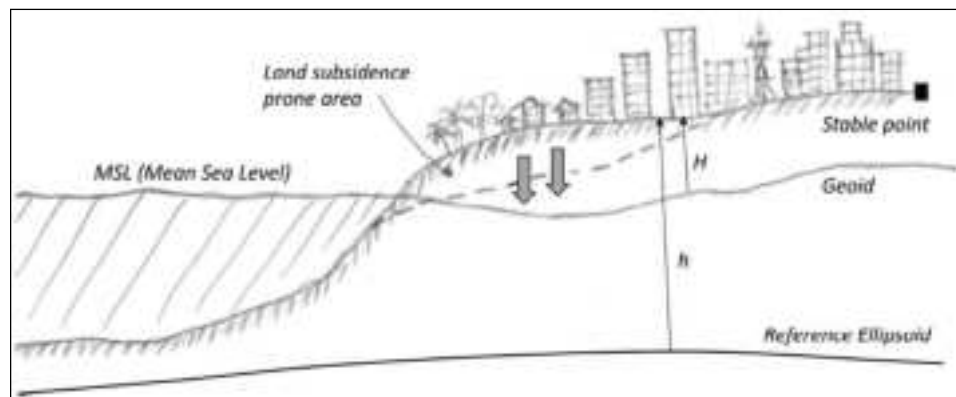
Gambar 2.2. Pengaruh air pasang, kenaikan muka air laut dan penurunan tanah (*land subsidence*) pada fenomena banjir (Sumber: Abidin dkk., 2015)

5. Penurunan muka tanah

Penurunan muka tanah merupakan permasalahan yang sering dijumpai pada kota-kota besar, seperti Jakarta, Bandung, Semarang, Surabaya, dan Sidoarjo. Penelitian tentang penurunan muka tanah telah dilakukan oleh Abidin (2015), hasil penelitiannya menyebutkan bahwa dampak dari penurunan muka tanah ini dapat terlihat dalam beberapa bentuk, seperti rusaknya konstruksi bangunan permanen, meluasnya daerah genangan banjir, berkurangnya ketinggian air tanah, dan bertambahnya intrusi air laut ke daratan (Gambar 2.3).

Penurunan muka tanah memiliki beberapa tipe. Menurut Murdohardono dan Sudarsono (1998), ada 4 tipe penurunan tanah yang terjadi yaitu:

- Penurunan muka tanah akibat ekstraksi atau pengambilan air tanah.
- Penurunan muka tanah akibat penumpukan konstruksi.
- Penurunan muka tanah akibat peleburan tanah alluvial.
- Penurunan muka tanah karena aktivitas geotektonik.



Gambar 2.3. Ilustrasi penurunan muka tanah (Sumber: Abidin dkk., 2015)

Penyebab utama penurunan muka tanah adalah ekstraksi atau pengambilan air tanah. Pengambilan air tanah yang berlebihan, dapat menyebabkan ketinggian muka air akan berkurang, yang nantinya akan berakibat turunnya muka tanah dan juga intrusi air laut (Soekardi, 1986).

6. Kerusakan bangunan pengendali banjir (oleh bencana alam).

Kerusakan bangunan pengendali banjir yang termasuk dalam penyebab banjir secara alami adalah kerusakan yang diakibatkan oleh karena sebab terkena bencana alam.

2.4.2. Faktor-faktor Penyebab Banjir Karena Tindakan Manusia

Banjir dapat terjadi selain karena faktor alam, juga dapat disebabkan oleh tindakan dan kegiatan manusia. Penyebab-penyebab banjir karena tindakan manusia tersebut antara lain:

1. Perubahan tata guna lahan (*land use*) di Daerah Aliran Sungai (DAS);
2. Pembuangan sampah;
3. Erosi dan sedimentasi;
4. Kawasan kumuh di sepanjang sungai/drainase;
5. Perencanaan sistem pengendalian banjir tidak tepat;
6. Pengaruh fisiografi/geofisik sungai;
7. Kapasitas sungai dan drainase yang tidak memadai;
8. Penurunan tanah dan rob (genangan akibat pasang air laut);
9. Drainase lahan;
10. Bendung dan bangunan air;
11. Kerusakan bangunan pengendali banjir.

Secara keseluruhan, faktor-faktor penyebab banjir bisa dilihat pada Tabel

2.1.

Tabel 2.1. Faktor-faktor Penyebab Banjir

Faktor Penyebab Banjir	
Faktor Alami	Faktor Tindakan Manusia
1. Curah hujan	1. Perubahan tata guna lahan (<i>land use</i>) di Daerah Aliran Sungai (DAS)
2. Pengaruh fisiografi/geofisik sungai	2. Pembuangan sampah
3. Kapasitas sungai	3. Erosi dan sedimentasi
4. Pengaruh air pasang	4. Kawasan kumuh di sepanjang sungai/drainase
5. Penurunan tanah dan rob	5. Perencanaan sistem pengendalian banjir tidak tepat
6. Kerusakan bangunan pengendali banjir (oleh bencana alam)	6. Pengaruh fisiografi/geofisik sungai
	7. Kapasitas sungai dan drainase yang tidak memadai

-
8. Penurunan tanah dan rob (genangan akibat pasang air laut)
 9. Drainase lahan
 10. Bendung dan bangunan air
 11. Kerusakan bangunan pengendali banjir
-

Sumber: Kodoatie dan Sugiyanto, 2002

2.5. Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang dijadikan acuan pada penelitian ini adalah sebagaimana terdapat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Penelitian Terdahulu Terkait Penelitian

Nama	Tahun	Judul
Bioresita dkk.	2013	Analisa Potensi Genangan Berdasarkan Data Curah Hujan Global TRMM (<i>Tropical Rainfall Measuring Mission</i>) (Studi Kasus: Kabupaten Sampang)
Elkhrachy, Ismail	2015	<i>Flash Flood Hazard Mapping Using Satellite Images and GIS Tools: A Case Study of Najran City, Kingdom of Saudi Arabia (KSA)</i>
Hamdani dkk.	2014	Analisa Daerah Rawan Banjir Menggunakan Aplikasi Sistem Informasi Geografi (Studi Kasus Pulau Bangka)
Hardaningrum dkk	2005	Analisis Genangan Air Hujan di Kawasan Delta dengan Menggunakan Penginderaan Jauh dan SIG
Ouma dkk.	2014	<i>Urban Flood Vulnerability and Risk Mapping Using Integrated Multi-Parametric AHP and GIS: Methodological Overview and Case Study Assessment</i>
Rimba dkk.	2017	<i>Physical Flood Vulnerability Mapping Applying Geospatial Techniques in Okazaki City, Aichi Prefecture, Japan</i>
Samarasinghe dkk.	2010	<i>Application of Remote Sensing and GIS for Flood Risk Analysis: A Case Study at Kalu-Ganga River, Sri Lanka</i>
Sayogo dkk.	2009	Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis untuk Menganalisis Genangan Air Hujan

Nama	Tahun	Judul
Udani dkk.	2016	<i>Flood Hazard Vulnerability Mapping using Remote Sensing and GIS: A Case Study Along the Villages of Anand Taluka</i>
Uddin dkk.	2013	<i>Application of Remote Sensing and GIS for Flood Hazard Management: A Case Study from Sindh Province, Pakistan</i>
Farida dkk.	2005	Analisis Genangan Air Hujan Di Kawasan Delta Dengan Menggunakan Penginderaan Jauh dan SIG

Sedangkan variabel-variabel yang digunakan pada penelitian terdahulu tersebut bisa dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Variabel-variabel yang Digunakan pada Penelitian Terdahulu

Nama	Tahun	Judul	Variabel												
			Land Cover	Settlement Density	Road Access Distance	Slope	Soil Type	Surface Roughness	Drainage	Drainage Density	Distance to Main Channel	Watershed	Cross Section of the River	Stream Flow	Rainfall
Elkhrachy, Ismail	2015	1													
Hamdani dkk.	2014	2													
Hardaningrum dkk.	2005	3													
Samarasinghe dkk.	2010	4													
Sayogo dkk.	2009	5													
Udani dkk.	2016	6													
Uddin dkk.	2013	7													
Bioresita dkk.	2013	8													
Rimba dkk.	2017	8													

2.6. Banjir di Kabupaten Sidoarjo

Berdasarkan data yang didapatkan dari beberapa sumber berita dari berbagai media di internet serta data dari BPBD Kabupaten Sidoarjo, setidaknya bisa diketahui waktu terjadinya banjir dan penyebabnya, seperti yang terlihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Data Waktu Terjadi Banjir dan Penyebab Banjir di Kabupaten Sidoarjo

No	Periode Banjir	Wilayah Terdampak	Korban	Korupsi	Penyebab Banjir	Sumber Berita	Tantam Berita	Tanggal Berita	Tanggal Absen
1	11-24 Januari 2017 (masih berlangsung ketika berita ditulis)	Kecamatan Aboen, meliputi: - Desa Kupang - Desa Tambak Kalasego - Desa Semanbang - Desa Kedangsapuran - Desa Kedangsarjo	<ul style="list-style-type: none"> 241 Ha tanaman padi, dengan rincian: <ul style="list-style-type: none"> - 80 Ha padi panen, - 111 Ha panen dini, dan - hanya 50 Ha panen normal 300 Ha tambak budidaya yang digunakan untuk memelihara bandeng, udang vaname, dan mujair 	Milyena Rapiah		Kompas	http://regional.kompas.com/read/2017/01/24/17433361/banjir-di-sidoarjo.kompas.com	24 Januari 2017	24 Februari 2017
2	13 Januari 2017	Kecamatan Aboen, meliputi: • Desa Kupang • Desa Semanbang • Desa Kedangsapuran	200 Ha area pertambakan yang siap panen, tanggal jebol hingga terendam banjir dan para petambak mengalami gagal panen	Milyena Rapiah	<ul style="list-style-type: none"> alibot buasan sampai curah hujan tinggi air laut pasang 	Berita Jotim	http://bertajotim.com/pertambakan-287785/banjir-di-jabon-capai-siduran-rapiah.html	13 Januari 2017	25 Februari 2017
3	13 Desember 2016	Kecamatan Porong	Bal K.A	Puluhan juta	Longsor		http://buma.go.id/bestaapi-berita/0-Bal-Di-Porong-Rawan-Ambles	13 Desember 2016	24 Mei 2017
4	10 Oktober 2016	14 desa di 8 kecamatan • Desa Seling Kecamatan Taman dengan ketinggian 15-30 cm,	Tidak disebutkan	Tidak disebutkan	<ul style="list-style-type: none"> Curah hujan Belum adanya normalisasi Kali Buntang 	Republika	http://nasional.republika.co.id/berita/nasional/dan-rub/16/10/16-berita-361-delapan-kecamatan-di-sidoarjo-terendam-banjir	10 Oktober 2016	24 Februari 2017

No	Periode Banjir	Wilayah Terdampak	Korban	Kerugian	Penyebab Banjir	Sumber Berita	Tantian Berita	Tanggal Berita	Tanggal Akasi
		<ul style="list-style-type: none"> Desa Keboun Sibeg dan Desa Tebel Kecamatan Gedangan sekitar 15-30 cm, Desa Semanggi Kecamatan Sedati ketinggian air 15-30 cm, Desa Banjar Kemastren, Desa Somo dan Desa Buduran Kecamatan Buluran dengan ketinggian 15-30 cm, Desa Kemangiang Kecamatan Balongbendo ketinggian air 15-30 cm, Desa Bawengajen Kecamatan Krajan dengan ketinggian 15-30 cm, Desa Sedati Gedhe dan Desa Sedati Agung Kecamatan Sedati dengan ketinggian 15-30 cm, Desa Pucung Jomra, Desa Gajah, Desa Blura Kecamatan Sidoarjo 							

No	Periode Banjir	Wilayah Terdampak	Korban	Kerugian	Penyebab Banjir	Sumber Berita	Tautan Berita	Tanggal Berita	Tanggal Abstrak
5	10 Oktober 2016	dengan ketinggian 15-30 cm. • Kali Buntang • Sidokare • Baduran • Tilera • Kungkani • Bangunreah • Ngagun			• Curah Hujan	Astana	http://www.antarasura.com/berita/589536-sejumlah-wilayah-sidoarjo-tersendam-banjir	10 Oktober 2016	24 Februari 2017
6	11-17 Februari 2016	Infrastruktur rel Kereta Api (KA) antara Stasiun Tanggulangin-Stasiun Pongor Sidoarjo	PT KAI Daop 8 Surabaya	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rp 200-250 juta per hari ▪ Rincian: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 12 angkutan kereta relasi Surabaya-Banyuwangi, Surabaya – Malang, Surabaya-Bilar dan Relasi Surabaya-Jember atau sebaliknya di luar kereta BBM ▪ Biaya sewa bus untuk menjemput dan mengantar penumpang yang jurusan keretanya harus berubah. Per hari 10 bus, 5 bus dirupiah Stasiun Sidoarjo dan 5 bus 	Tidak disebutkan	Dokumentasi Pervasi Jawa Timur	http://koininfo.jatimprov.go.id/read/raman/banjir-porong-gtki-daop-8-alami-kerugian-rp-1-1-250-m	11 Februari 2016	23 Februari 2017

No	Periode Banjir	Wilayah Terdampak	Karton	Kerugian	Penyakit Banjir	Sumber Berita	Tautan Berita	Tanggal Berita	Tanggal Akses
7	16 Februari 2016	Jalur rel di kilometer 32+5 terputus dengan 32+2 terendam air setinggi 41 cm di atas permukaan rel.	PT KAJI Deep 8 Surabaya	<p>Gedongan di Stasiun Bangli</p> <ul style="list-style-type: none"> Alumni service recovery berupa makanan siap saji dan busan ringan karena dampak keterlambatan kereta. <p>Rp 200 juta hingga Rp 250 juta hari</p> <p>Rincian:</p> <ul style="list-style-type: none"> 30 perjalanan KA yang melintas ke arah Perang terganggu Sewa 43 armada bus untuk memindahkan penumpang yang terganggu banjir 	Tidak disebutkan	Republika	http://nasional.republika.co.id/berita/nasional/dan-16/02/16/a2mynf53-5-akibat-banjir-perang-deep-surabaya-rugi-rp-250-juta-hari	16 Februari 2016	25 Februari 2017
8	5-13 Februari 2016	11 kecamatan dan 62 desa	48.979 KK	Rp 39.983.200.000	Tidak disebutkan	Sidoarjo News	http://www.sidoarjo.news.com/banjir-sidoarjo-korban-39-korban-tanggal-19-desember	13 Februari 2016	25 Februari 2017

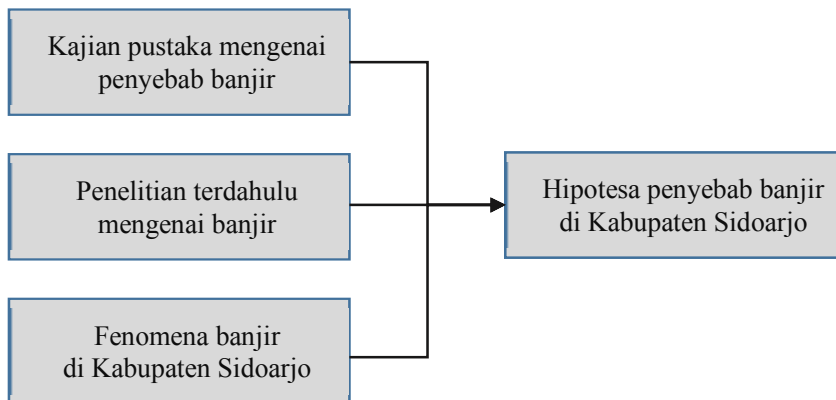
Berdasarkan sumber berita yang didapatkan dari internet, bisa diketahui beberapa hipotesa penyebab banjir di Kabupaten Sidoarjo, seperti yang terlihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5. Penyebab Banjir di Kabupaten Sidoarjo

No	Penyebab Banjir	Sumber Data
1	Akibat luapan sungai	Berita Jatim, 13 Januari 2017
2	Curah hujan tinggi	▪ Berita Jatim, 13 Januari 2017 ▪ Antara, 10 Oktober 2016
3	Air laut pasang	Berita Jatim, 13 Januari 2017
4	Belum adanya normalisasi sungai	Republika, 13 Desember 2016
5	Penurunan tanah	Situs Kementerian BUMN, 13 Desember 2016

Sumber: Berbagai sumber, 2016-2017

Untuk mengidentifikasi penyebab terjadinya banjir di Kabupaten Sidoarjo, penelitian ini menggunakan diagram alir seperti yang terlihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Diagram alir penentuan hipotesa penyebab banjir di Kabupaten Sidoarjo

Berdasarkan diagram seperti yang terlihat pada Gambar 2.4, maka kemudian disusun tabel penyebab banjir dari berbagai pendekatan tersebut, seperti yang terlihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6. Variabel Penyebab Banjir

[illegible]

Berdasarkan pustaka penyebab banjir, beberapa penelitian sejenis terdahulu, serta data awal penyebab banjir dari berbagai media yang ada, maka bisa disimpulkan hipotesa bahwa variabel atau faktor yang mempengaruhi banjir di Kabupaten Sidoarjo adalah sebagai berikut:

1. Kelerengan (*slope*);
2. Curah hujan (*rainfall*);
3. Tutupan lahan (*land cover*);
4. Densitas drainase (*drainage density*);
5. Penurunan muka tanah (*land subsidence*);
6. Pasang surut (*tide*);
7. Kenaikan muka air laut (*sea level rise*).

2.7. *Analytic Hierarchy Process (AHP)*

Dalam penggunaan metode *Analytic Hierarchy Process (AHP)*, setidaknya perlu dipahami mengenai definisi AHP serta hal-hal yang menyangkut skala persepsi manusia, prinsip dasar AHP, serta analisa dan penyusunan hirarki.

2.7.1. Definisi *AHP*

Analytic Hierarchy Process (AHP) merupakan suatu teori dasar mengenai metode pengukuran dengan menggunakan skala rasio dan mengilustrasikannya ke dalam dua bentuk contoh (Saaty, 1987). *AHP* yang biasa disebut juga dengan proses hirarki analitik pertama kali dikembangkan oleh Thomas L. Saaty, seorang ahli matematika dari University of Pittsburg, Amerika Serikat, pada tahun 1970-an. *AHP* pada dasarnya didesain untuk menangkap secara rasional persepsi orang yang berhubungan erat dengan permasalahan tertentu, melalui prosedur yang didesain untuk sampai pada skala preferensi berbagai set alternatif (Falahatun, 2016).

Model *AHP* menggunakan peralatan utama berupa sebuah hirarki fungsional dengan input utamanya adalah persepsi manusia. Dengan hirarki, suatu permasalahan yang kompleks dan tidak terstruktur dipecah dalam kelompok-kelompok, yang kemudian diatur menjadi suatu bentuk hirarki. Input yang digunakan dalam *AHP* adalah secara kualitatif (persepsi), sehingga model *AHP* dapat mengolah hal-hal kualitatif, selain kuantitatif. Model *AHP* sering digunakan karena mempunyai kelebihan utama, yaitu kemampuannya yang dapat

memecahkan masalah *multiobjectives* dan *multicriterias*. Hal tersebut karena fleksibilitas yang tinggi, terutama dalam pembuatan hirarkinya. Sifat fleksibilitasnya juga membuat model AHP dapat menangkap beberapa tujuan dan kriteria secara sekaligus dalam sebuah model atau hirarki (Falatehan, 2016).

2.7.2. Skala Persepsi Manusia

Ketika membuat perbandingan terhadap dua alternatif berdasarkan suatu kriteria tertentu, maka akan diidentifikasi satu kriteria mempunyai nilai lebih dari kriteria lainnya. Untuk mengukur perbedaan absolut tersebut, dibutuhkan alat bantu pengukuran yang sudah mempunyai standar (Falatehan, 2016).

Alat bantu ukur untuk skala dasar, telah dirumuskan oleh Thomas L. Saaty (1987) seperti yang terlihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7. Skala Dasar *AHP*

Intensitas Kepentingan	Definisi	Penjelasan
1	Kedua elemen sama penting	Dua aktivitas mempunyai kesamaan kontribusi terhadap tujuan
3	Elemen yang satu sedikit lebih penting daripada elemen lain	Pengalaman dan penilaian sangat mendukung salah satu aktivitas dibandingkan dengan yang lain
5	Elemen yang satu lebih penting daripada elemen lain	Pengalaman dan penilaian sangat mendukung salah satu aktivitas dibandingkan dengan yang lain
7	Elemen yang satu sangat lebih penting daripada elemen lain	Salah satu aktivitas sangat mendukung dan dominasinya ditunjukkan dalam prakteknya
9	Elemen yang satu mutlak lebih penting daripada elemen lain	Bukti yang mendukung salah satu aktivitas daripada yang lain, merupakan kemungkinan urutan afirmasi tertinggi
2, 4, 6, 8	Nilai antara dua nilai pertimbangan yang berdekatan	Kapan kompromi dibutuhkan
Timbal Balik	Jika aktivitas ke- i mempunyai salah satu nilai yang ditugaskan untuk itu, ketika dibandingkan dengan aktivitas j , kemudian j mempunyai nilai timbal balik ketika dibandingkan dengan i	
Rasional	Rasio yang muncul dari skala	Jika konsistensi dipaksakan dengan memperoleh nilai numerik n untuk merentangkan matriks

Sumber: Saaty, 1987

2.7.3. Prinsip Dasar *AHP*

Prinsip dasar *AHP* menurut Permadi dalam Falatehan (2016), mempunyai prinsip dasar yang dalam memecahkan masalah dengan menggunakan analisis logis eksplisit dalam tiga prinsip, yaitu:

a. Prinsip penyusunan hirarki

Menggambarkan dan menguraikan secara hirarki, yaitu memecahkan permasalahan menjadi unsur-unsur yang terpisah;

b. Prinsip penentuan prioritas

Menentukan prioritas berdasarkan prioritas utama dan sintesis, yaitu menentukan peringkat elemen-elemen menurut relatif tingkat kepentingannya;

c. Prinsip konsistensi

Menjamin bahwa semua elemen dikelompokkan secara logis dan di peringkat secara konsisten, sesuai dengan kriteria yang logis.

2.7.4. Analisa dan Penyusunan Hirarki

Dalam analisis *AHP*, terdapat dua macam hirarki, yaitu hirarki struktural dan fungsional (Falatehan, 2016). Hirarki struktural merupakan suatu sistem yang kompleks yang disusun berdasarkan komponen-komponen pokoknya dalam urutan menurun berdasarkan sifat strukturalnya. Sedangkan hirarki fungsional adalah suatu sistem yang kompleks yang dipecah menjadi bagian-bagian yang menjadi beberapa elemen pokoknya menurut hubungan esensial yang sama.

Langkah penyusunan hirarki adalah:

- a. Menetapkan prioritas;
- b. Menghitung matriks pendapat individu;
- c. Menghitung matriks pendapat gabungan;
- d. Sintesis;
- e. Konsistensi;
- f. Pengolahan horisontal;
- g. Pengolahan vertikal;
- h. Revisi pendapat.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 3

METODOLOGI

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Daerah kajian dalam penelitian ini meliputi seluruh wilayah Kabupaten Sidoarjo. Kabupaten Sidoarjo terdiri dari 18 kecamatan yaitu meliputi: Kecamatan Sidoarjo, Balongbendo, Buduran, Candi, Gedangan, Jabon, Krembung, Krian, Prambon, Porong, Sedati, Sukodono, Taman, Tanggulangin, Tarik, Tulangan, Waru, dan Wonoayu (Gambar 2.1). Penelitian dilaksanakan sepanjang bulan Maret sampai dengan Juni 2017.

Tabel 3.1. *Time Schedule* Tesis

Kegiatan	Tanggal											
	Maret			April			Mei			Juni		
Penyusunan Proposal												
Seminar Proposal												
Revisi Proposal												
Perijinan												
Pengambilan Data												
Pengolahan Data												
Draft Hasil												
Presentasi Hasil												
Revisi Hasil												
Penyerahan Laporan Tesis												

3.2. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini terbagi menjadi 2 (dua), yaitu alat dan bahan yang digunakan pada saat observasi lapang dan pada saat pengolahan data.

3.2.1. Alat

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain *Global Positioning System (GPS)* untuk penentuan koordinat lokasi penelitian, serta kamera digital untuk dokumentasi dan laptop untuk pengolahan data. Adapun daftar alat yang digunakan dalam penelitian ini selengkapnya terlihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Alat yang Digunakan dalam Penelitian

No.	Nama Alat	Fungsi
Observasi Lapang		
1	<i>GPS</i>	Menentukan koordinat lokasi penelitian
2	Kamera Digital	Media dokumentasi
Pengolahan Data		
1	<i>Laptop</i>	Media pengolahan data

3.2.2. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini meliputi beberapa *software* yang digunakan untuk pengolahan dan analisa data. Bahan-bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini sebagaimana terlihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3. Bahan yang Digunakan

No.	Nama Bahan	Fungsi
<i>Software</i>		
1	<i>Software Google Earth Pro</i>	Menentukan lokasi penelitian
2	<i>Software Surfer 11</i>	Mengolah data, analisis data dan plotting peta
3	<i>Software Global Mapper 16</i>	Mengolah data <i>Digital Elevation Model (DEM)</i>
4	<i>Software Naotide</i>	Memprediksikan data pasang surut wilayah perairan Kabupaten Sidoarjo
5	<i>Microsoft Excel 2016</i>	Mengolah dan analisis data
6	<i>Software Ocean Data View (ODV)</i>	Ekstraksi data
7	<i>Software ArcGIS 10.5</i>	Memetakan semua parameter banjir dan wilayah kerentanan banjir
8	<i>Software ENVI 5.1</i>	Mengklasifikasi citra satelit
9	<i>Software TerrSet 1.0.18.31</i>	Memprediksi perubahan tutupan lahan di masa mendatang
Data yang akan Diproses		
1	<i>DEM</i>	Mengetahui kelerengan wilayah
2	Curah hujan	Mengetahui sebaran temporal dan spasial curah hujan di suatu wilayah
3	Citra satelit Landsat 7 dan 8	Mengetahui tutupan lahan
4	Hidrologi/DAS (<i>watershed</i>)	Mengetahui densitas drainase
5	Penurunan muka tanah	Mengetahui penurunan muka tanah yang terjadi
6	Pasang surut	Mengetahui pasang surut di wilayah tertentu
7	Kenaikan muka air laut	Mengetahui kenaikan muka air laut

3.3. Teknik Pengumpulan Data

Jika intensitas curah hujan melebihi tingkat penguapan dan kapasitas peresapan oleh tanah, maka limpasan permukaan terjadi sebagai banjir. Hal ini juga terjadi ketika hujan jatuh pada permukaan tanah, seperti jalan raya dan daerah beraspal lainnya. Ada banyak faktor yang mempengaruhi identifikasi bahaya banjir dan pemodelan, bervariasi dari satu wilayah studi dengan wilayah yang lain. Misalnya pemodelan banjir perkotaan sangat kompleks karena interaksi dengan berbagai struktur buatan manusia seperti bangunan, jalan, gorong-gorong, saluran, terowongan, dan struktur bawah tanah (Elkhrachy, 2015). Faktor-faktor penyebab banjir di Kabupaten Sidoarjo telah dipilih berdasarkan studi kasus yang telah ada, dengan lokasi yang berbeda, namun mempunyai karakteristik yang sama. Adapun 7 (tujuh) variabel atau faktor yang mempengaruhi banjir di Kabupaten Sidoarjo adalah sebagai berikut:

1. Kelerengan (*slope*)

Topografi dan kelerengan tanah adalah salah satu unsur penting dalam kejadian banjir. Potensi banjir meningkat seiring dengan meningkatnya kemiringan permukaan.

2. Curah hujan (*rainfall*)

Kemungkinan dari kenaikan banjir sebagai akibat dari meningkatnya jumlah curah hujan di suatu lokasi. Intensitas curah hujan yang lebih tinggi dapat menghasilkan lebih banyak limpasan karena tanah tidak bisa menyerap air dengan cepat. Dalam penelitian ini, curah hujan maksimum tahunan akan digunakan dengan periode 10 tahunan untuk memodelkan limpasan.

3. Tutupan lahan (*land cover*)

Tutupan lahan menggambarkan penampakan lanskap suatu wilayah dan umumnya diklasifikasikan oleh jumlah dan jenis vegetasi, yang merupakan refleksi dari penggunaannya, lingkungan, budidaya dan fenomena musiman. Tutupan lahan adalah faktor penting hubungannya dengan limpasan air.

4. Densitas drainase (*drainage density*)

Densitas drainase adalah panjang semua saluran di dalam cekungan/lembah (*basin*) dibagi dengan luas cekungan. Jika jaringan drainase padat, maka akan

menjadi indikator yang baik untuk jalur akumulasi aliran deras dan lebih mungkin terkena banjir (Elkharcy, 2015).

5. Penurunan muka tanah (*land subsidence*)

Penurunan muka tanah suatu wilayah akan berpengaruh pada kerentanan terhadap banjir. Semakin meningkatnya tingkat penurunan muka tanah, maka potensi banjir juga meningkat.

6. Pasang surut (*tide*)

Pasang surut adalah fenomena alam berupa naiknya tinggi paras air dikarenakan gaya gravitasi bulan dan matahari. Namun gaya gravitasi bulan yang paling berperan di sini. Ketika air pasang, maka akan meningkatkan potensi banjir.

7. Kenaikan muka air laut (*sea level rise*)

Kenaikan muka air laut pada kenyataannya terjadi dari waktu ke waktu. Hal ini juga terjadi pada perairan Indonesia dan perairan di sepanjang pesisir Kabupaten Sidoarjo pada khususnya. Semakin meningkatnya laju kenaikan muka air laut akan berpengaruh pada semakin meningkatnya potensi banjir pada suatu wilayah.

Penelitian ini meliputi seluruh kegiatan yang berkaitan dengan analisis kerentanan wilayah Kabupaten Sidoarjo terhadap bahaya banjir. Data yang digunakan pada penelitian ini terbagi menjadi 2 jenis berdasarkan sumber datanya, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang diperoleh dari hasil observasi lapang, meliputi pengamatan seluruh wilayah kecamatan di Kabupaten Sidoarjo dan dokumentasinya, sedangkan data sekunder diperoleh dari data citra satelit dan instansi terkait. Daftar data yang diperlukan beserta sumbernya sebagaimana pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4. Sumber Data Parameter Kerentanan Pesisir terhadap Banjir Pasang

No.	Nama Data	Spesifikasi	Sumber Data
1	Kelerengan	Data <i>DEM</i> Resolusi 30m	ASTER GDEM 2 http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp
2	Tutupan lahan	- Landsat 7 dan 8	<i>Earth Explorer USGS</i> https://earthexplorer.usgs.gov

No.	Nama Data	Spesifikasi	Sumber Data
		2. Peta Rupa Bumi Indonesia Skala 1:25.000	Badan Informasi Geospasial
3	Curah hujan	Data rata-rata curah hujan per tahun (2007-2017)	<i>TRMM</i> http://giovanni.sci.gsfc.nasa.gov
4	Densitas drainase	Data sungai dan drainase	- Landsat 8 - Peta RBI - Pengamatan langsung di lapang
5	Pasang Surut	Data pasang surut harian per tahun (2007-2017)	• Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) • Prediksi menggunakan <i>software</i> Naotide
6.	Penurunan muka tanah (<i>land subsidence</i>)	Data penurunan muka tanah	Pusat Studi Kebencanaan LPPM ITS Surabaya
7.	Kenaikan muka air laut	Data Laju Kenaikan Muka Air Laut (1993 – 2017)	NASA https://sealevel.nasa.gov

Data yang dimaksud pada Tabel 3.4 adalah data yang digunakan sebagai data masukan dalam *software* Surfer 11, ArcGIS 10.5, *Ocean Data View (ODV)*, Global Mapper 16 maupun data yang dibutuhkan dalam proses analisis.

Tabel 3.5. Sumber Data dan Cara Pengolahan

No.	Jenis Data	Sumber Data	Cara Pengolahan
1.	Kelerengan	<i>DEM</i> Peta Ketinggian dari Dinas PU	<i>DEM</i> diolah menjadi Kontur Digitasi
2.	Curah hujan	Satelit sumber <i>TRMM</i> (Data Curah Hujan) BMKG (Data Curah Hujan)	Diinterpolasi
3.	Tutupan lahan	Landsat 7 dan 8 Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW)	Diinterpolasi Diklasifikasi (<i>Land cover</i>) <i>Dicross check</i> dengan data lapang

No.	Jenis Data	Sumber Data	Cara Pengolahan
4.	Densitas drainase	Landsat 8 Peta Hidrologi dan DAS dari Dinas PU	Diklasifikasi (Hidrologi) Digitasi
5.	Penurunan muka tanah	Data dari Dinas PU dan penelitian sebelumnya	Tren penurunan muka tanah
6.	Pasang surut	Data prediksi TMD dan NaoTide (2007-2017)	Diproses (interpolasi)
		Data pasut dari Pushidros atau BMKG	Diproses (interpolasi)
7.	Kenaikan muka air laut	Sea level Change dari NASA	Diolah dan digrafikkan tren kenaikan muka air laut

3.4. Metode Pengolahan Data

Pada sub bab ini akan dijelaskan tentang cara pengolahan data semua variabel yang berpengaruh pada kejadian banjir di Kabupaten Sidoarjo.

3.4.1. Prosedur Pengolahan Data Kelerengan

Pengolahan data kelerengan dalam penelitian ini menggunakan beberapa *software* ArcGIS. Sumber data berupa *DEM* yang diperoleh dari ASTER GDEM 2. Data tersebut kemudian dilakukan analisa spasial dengan menggunakan ArcGIS untuk menentukan kelerengan. Selanjutnya, nilai kelerengan yang ada dilakukan reklasifikasi. Hasil reklasifikasi yang masih berbentuk raster kemudian dikonversi menjadi berbentuk vektor.

3.4.2. Prosedur Pengolahan Data Pasang Surut

Data pasang surut yang digunakan dalam penelitian ini adalah berupa data sekunder dari dua sumber yaitu data pasang surut dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) dan data dari hasil prediksi *NaoTide*. Perhitungan rata-rata nilai tunggang pasang surut dihitung dari selisih pasang tertinggi dan surut terendah di lokasi penelitian pada kurun waktu tertentu. Dalam penelitian ini, rata-rata tunggang pasang surut didapat dari hasil *running* model pasang surut Kabupaten Sidoarjo tahun 2007-2017 menggunakan *software* *Naotide*. Dari hasil *running software* tersebut diperoleh data tinggi pasut 10 tahunan, serta data tipe pasang surut di wilayah perairan sekitar Kabupaten Sidoarjo. Namun sebelum data hasil prediksi *NaoTide* dapat dipergunakan untuk analisa, terlebih dahulu dilakukan validasi/verifikasi data menggunakan data BMKG. Setelah data

terverifikasi dengan baik, maka pengolahan data lanjutan dan analisa pasang surut dapat dilakukan.

Data tinggi pasut akan dianalisa berdasarkan tren dari tahun ke tahun selama 10 tahun antara 2007-2017. Data tinggi pasut 10 tahunan ini nantinya akan digunakan sebagai data inputan dalam analisa kerentanan wilayah Sidoarjo terhadap bencana banjir terutama berupa banjir rob dari pasangny air laut dan sungai yang ada di Kabupaten Sidoarjo.

3.4.3. Prosedur Pengolahan Data Kenaikan Muka Air Laut

Pengolahan data kenaikan muka air laut dilakukan dengan menggunakan MS Excel. Dimana data Muka Air Laut Global/ *Global Mean Sea Level* (GMSL) di download dari website NASA yaitu <https://sealevel.nasa.gov> mulai dari tahun 1993 sampai 2017. Data multi tahun tersebut diolah untuk mencari perubahan tiap tahunnya. Data perubahan tiap tahun kemudian digrafikkan dan dicari persamaan garis serta trendlinenya. Dari garis atrendline ini nantinya dapat dimanfaatkan untuk prediksi perubahan muka air laut kedepannya (peramalan). Apabila trendline menunjukkan nilai positif, berrati perubahan muka air laut yang terjadi adalah berupa kenaikan. Namun sebaliknya, apabila perubahan yang terjadi adalah negatif maka perubahan muka air laut yang terjadi adalah berupa penurunan muka air laut. Perubahan muka air laut berupa kenaikan atau disebut juga kenaikan muka air laut, maka dapat berdampak pada semakin berpotensi wilayah pesisir terhadap bahaya banjir.

3.4.4. Prosedur Pengolahan Data Curah Hujan

Data curah hujan yang digunakan adalah yang bersumber dari *TRMM* (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) NASA. Data yang didownload dan diolah berupa data curah hujan harian selama 10 tahun (2007-2017) dalam satuan (mm/hari). Data tersebut kemudian dilakukan ekstraksi menggunakan *software* ODV (*Ocean Data View*) untuk bisa diperoleh data curah hujan harian selama 2007-2017. Selanjutnya, data berbentuk tabel yang berisi curah hujan harian yang koordinat tersebut diolah dengan menggunakan *software* Surfer. Hasil data spasial dari Surfer kemudian dikonversi menjadi berbentuk *shapefile*, agar bisa diproses lanjutan dengan menggunakan *software* ArcGIS.

3.4.5. Prosedur Pengolahan Data Tutupan lahan

Data tutupan lahan didapatkan dari citra satelit Landsat 8 yang diperoleh dari *download* melalui situs *Earth Explorer USGS*. Citra satelit tersebut kemudian diolah dengan menggunakan *software* ENVI 5.1, dengan menggunakan klasifikasi *supervised*. Hasil klasifikasi berbentuk raster tersebut kemudian dikonversi menjadi *vector* dalam bentuk *shapefile*. Selanjutnya, dilakukan reklasifikasi berdasarkan klasifikasi yang ditentukan dengan menggunakan *software* ArcGIS. Data hasil olahan tersebut kemudian digabungkan dengan Peta RBI berskala 1:25.000 untuk menghasilkan hasil yang lebih baik dan rinci.

3.4.6. Prosedur Pengolahan Data Densitas Drainase

Data yang digunakan adalah berupa Peta RBI Hidrologi berskala 1:25.000 yang digabungkan dengan Peta Daerah Aliran Sungai (DAS) dari Dinas PU Pengairan serta pemutakhiran dengan citra satelit Landsat 8 dan pengamatan di lapang. Data berupa drainase diambil panjang masing-masing drainase. Sedangkan untuk luasan masing-masing kecamatan dilakukan dengan menggunakan analisa spasial berupa *field calculation* dengan menggunakan *software* ArcGIS untuk mengetahui luas masing-masing kecamatan. Selanjutnya dihitung densitas drainase dengan membagi panjang aliran drainase di masing-masing kecamatan dibagi dengan luas masing-masing kecamatan.

3.4.7. Prosedur Pengolahan Data Penurunan Muka Tanah

Data penurunan muka tanah Kabupaten Sidoarjo dianalisa berdasarkan data tahun 2005-2016, yang didapatkan dari hasil kajian Tim Pusat Studi Kebencanaan LPPM ITS Surabaya, untuk kemudian diamati tren kenaikan/penurunannya. Data ini nantinya digunakan untuk analisa kerentanan bahaya banjir, dan juga untuk prediksi banjir di Kabupaten Sidoarjo di beberapa tahun mendatang.

3.5. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian deskriptif analitik. Metode ini merupakan metode yang berusaha menjelaskan suatu gejala, peristiwa maupun kejadian yang terjadi dengan cara menganalisis hasil pengolahan data-data yang terkait dengan penelitian. Penelitian ini meliputi seluruh

kegiatan yang berkaitan dengan analisis kerentanan wilayah pesisir terhadap banjir pasang di wilayah Kabupaten Sidoarjo.

Pelaksanaan penelitian ini terbagi menjadi beberapa tahap, yaitu studi literatur, pengumpulan data, pengolahan data, analisis kerentanan pesisir, prediksi penggenangan banjir. Studi literatur dilakukan untuk mengumpulkan informasi dari penelitian terdahulu serta sebagai pedoman penentuan lokasi penelitian. Pengumpulan data dilakukan dengan mendatangi instansi terkait data-data yang dibutuhkan dalam penelitian, melakukan observasi langsung di lapang serta menggunakan *website* penyedia *dataset* yang dibutuhkan. Pengolahan data dilakukan untuk mendapatkan nilai dari tiap-tiap parameter yang kemudian akan digolongkan sesuai tingkat kerentanannya. Nilai tersebut yang akan digunakan untuk menganalisis tingkat kerentanannya dan memetakan wilayah rentan banjir pasang serta memprediksikan penggenangan banjir pasang di masa yang akan datang. Untuk lebih jelas, skema kerja penelitian ini sebagaimana pada Gambar 3.1.

Tahapan-tahapan pada kegiatan penelitian ini adalah:

1. Studi literatur

Kajian studi pustaka dan dasar teori terkait dengan bahaya banjir, faktor-faktor penyebab banjir, profil Kabupaten Sidoarjo dan kejadian banjir di Kabupaten Sidoarjo.

2. Pengumpulan data primer dan sekunder

Pengumpulan data meliputi data-data dari semua faktor-faktor yang berpengaruh terhadap terjadinya banjir disesuaikan dengan kondisi dan kejadian banjir di Kabupaten Sidoarjo. Data-data tersebut meliputi data kelerengan, curah hujan, tutupan lahan, densitas drainase, penurunan muka tanah, pasang surut, dan kenaikan muka air laut.

3. Pembobotan dan skoring

Pembobotan dan skoring untuk masing-masing variabel penilaian didasarkan pada tingkat pengaruh variabel penelitian dalam memberikan dampak bahaya banjir semakin besar resiko yang akan diberikan maka semakin besar pula nilai harkatnya.

4. Pembuatan peta semua parameter dasar

Pemetaan semua parameter dan data dasar berbasis SIG untuk pemetaan kerentanan banjir

5. Pembuatan peta wilayah rentan banjir Kabupaten Sidoarjo

6. Membuat model prediksi wilayah rentan banjir di Kabupaten Sidoarjo.

3.6. Parameter Kerawanan Banjir di Kabupaten Sidoarjo

Berikut akan dibahas tentang pembobotan dan scoring untuk masing-masing variabel penilaian (parameter) didasarkan pada tingkat pengaruh variabel penelitian dalam memberikan dampak bahaya banjir.

3.6.1. Kelerengan

Daerah yang mempunyai kemiringan tanah lebih tinggi atau berada di daerah dataran rendah memiliki tingkat rawan banjir lebih besar dari pada daerah yang berada di kemiringan yang lebih rendah atau berada di daerah atas. Oleh karena itu pemberian skoring dengan parameter kelerengan daratan dibedakan berdasarkan slope kemiringan tanah. Haynes 1998 membagi kelerengan dalam beberapa kategori kemiringannya (*slope*) (Tabel 3.6).

Tabel 3.6. Parameter Kelerengan

Kelas kelerengan	Kelerengan (%)	<i>Terminology</i>
1	0-0.5	<i>Level</i>
2	>0.5-2	<i>Near level</i>
3	>2-5	<i>Very gentle slopes</i>
4	>5-10	<i>Gentle slopes</i>
5	>10-15	<i>Moderate slopes</i>
6	>15-30	<i>Strong slopes</i>
7	>30-45	<i>Very strong slopes</i>
8	>45-70	<i>Extreme slopes</i>
9	>70-100	<i>Steep slopes</i>
10	>100	<i>Very steep slopes</i>

(Sumber: Haynes, 1998)

3.6.2. Curah hujan

Daerah yang mempunyai curah hujan yang tinggi akan lebih mempengaruhi terhadap kejadian banjir. Berdasarkan hal tersebut, maka pemberian skor untuk daerah curah hujan tersebut semakin tinggi. Pemberian skor parameter curah hujan dibedakan berdasarkan data curah hujan harian, dimana BMKG (2010) membagi

curah hujan (mm/hari) dalam beberapa klasifikasi mulai dari hujan ringan sampai hujan sangat lebat (Tabel 3.7).

Tabel 3.7. Parameter Curah Hujan

Curah Hujan (mm/hari)	Klasifikasi
<5	<i>Very light rain</i>
5-20	<i>Light rain</i>
20-50	<i>Moderate rain</i>
50-100	<i>Heavy rain</i>
>100	<i>Very heavy rain</i>

(Sumber: BMKG, 2010)

3.6.3. Tutupan lahan

Tutupan lahan diklasifikasikan menjadi beberapa kelompok yaitu permukiman, industri, pertanian, tambak, mangrove, tanah lapang, dan perairan. Klasifikasi tutupan lahan berdasarkan Anderson (1976) dengan disesuaikan dengan kondisi yang ada di Kabupaten Sidoarjo. Untuk masing-masing kelompok tutupan lahan dideskripsikan sebagaimana pada Tabel 3.8.

Tabel 3.8. Parameter Tutupan Lahan

Tutupan Lahan	Deskripsi
Permukiman	Penggunaan lahan berupa perumahan maupun permukiman penduduk berupa rumah-rumah maupun kompleks perumahan, baik kepadatan rendah, sedang, maupun tinggi
Industri	Kawasan industri mencakup beragam penggunaan lahan dari manufaktur ringan hingga pabrik manufaktur berat. Kawasan industri sering terkoneksi langsung dengan infrastruktur berupa jalan raya.
Pertanian	Kawasan yang merupakan lahan dengan penggunaan berupa tanah pertanian seperti sawah dengan tanaman berupa padi
Tambak	Kawasan yang pada umumnya berada di pesisir pantai dengan penggunaan lahan berupa tambak untuk tempat pemeliharaan jenis budidaya perikanan tertentu, seperti bandeng, udang, dsb
Mangrove	Kawasan yang pada umumnya berada di pesisir pantai dengan penggunaan lahan berupa areal tanaman bakau
Tanah lapang	Kawasan dengan penggunaan lahan yang berupa tanah lapang maupun kawasan yang berupa lahan tanah terbuka dan tidak mempunyai penggunaan lahan secara khusus
Perairan	Areal yang berupa sungai, danau, maupun perairan lainnya

(Sumber: Anderson, 1976)

3.6.4. Densitas Drainase

Semakin rapat atau tinggi densitas drainase suatu wilayah, maka peluang untuk terjadinya banjir semakin tinggi. Demikian sebaliknya, semakin rendah densitas drainase suatu wilayah, maka semakin rendah peluang terjadi banjir. (Tabel 3.9).

Tabel 3.9. Parameter Densitas Drainase

Densitas Drainase	Klasifikasi
$<0.001434 \text{ m/m}^2$	<i>Least dense</i>
$0.0014345\text{-}0.00287 \text{ m/m}^2$	<i>Light dense</i>
$0.00288\text{-}0.004305 \text{ m/m}^2$	<i>Moderate dense</i>
$0.004306\text{-}0.00574 \text{ m/m}^2$	<i>Dense</i>
$>0.00574 \text{ m/m}^2$	<i>Very dense</i>

(Sumber: Rimba, 2017)

3.6.5. Penurunan Muka Tanah

Penurunan muka tanah yang terjadi dari tahun ke tahun akan berpengaruh pada besarnya potensi banjir suatu daerah. Kecamatan Porong merupakan salah satu wilayah di Kabupaten Sidoarjo dengan penurunan muka tanah yang terbilang tinggi disebabkan adanya semburan lumpur Lapindo. Pemberian skor pada masing-masing kelas penurunan muka tanah didasarkan pada range nilai besaran penurunan muka tanah yang ada. Pengklasifikasian penurunan muka tanah berdasarkan fenomena yang ada di wilayah kajian, hubungannya dengan dampak penurunan muka tanah dengan potensi banjir yang mungkin terjadi.

3.6.6. Pasang Surut

Pasang surut air laut dan air sungai akan sangat berpengaruh terhadap potensi banjir bagi suatu wilayah. Data pasang surut berupa tunggang pasut akan di analisis detil, dengan data pasut mulai dari tahun 2007 sampai 2016. Pemberian skor pada masing-masing kelas tunggang pasut sebagaimana pada Tabel 3.10.

Tabel 3.10. Parameter Pasang Surut

No	Tunggang pasut (m)	Klasifikasi
1	$>6,0$	Sangat Rentan
2	$4,0 - 6,0$	Rentan
3	$2,0 - 4,0$	Sedang
4	$1,0 - 2,0$	Tidak Rentan
5	$<1,0$	Sangat Tidak Rentan

Sumber: (Gornitz, 1991)

3.6.7. Kenaikan muka air laut

Kenaikan muka air laut disini merupakan salah satu fenomena alam sebagai pengaruh dari pemanasan global. Kenaikan muka air laut terjadi dalam rentang jangka waktu yang lama. Dengan bertambahnya kenaikan muka air laut ini berpengaruh pada semakin besar potensi dan kerentanan banjir pada suatu wilayah. Pemberian skor pada masing-masing kelas kenaikan muka air laut relatif sebagaimana pada Tabel 3.11.

Tabel 3.11. Parameter Kenaikan Muka Air Laut

No	Kenaikan muka air laut relatif (mm/thn)	Skor
1	> 4	Sangat Rentan
2	2 - 4	Rentan
3	1 - 2	Sedang
4	-1 - 0	Tidak Rentan
5	< -1	Sangat Tidak Rentan

(Sumber: Gornitz, 1991)

3.7. Analisis Tingkat Kerentanan dan Resiko Banjir

Analisis ini ditujukan untuk penentuan nilai kerawanan dan resiko suatu daerah terhadap banjir. Nilai kerawanan suatu daerah terhadap banjir ditentukan dari total penjumlahan skor seluruh parameter yang berpengaruh terhadap banjir. Analisa dalam penelitian ini menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process (AHP)*.

3.7.1. Analytic Hierarchy Process (AHP)

AHP adalah model pendukung keputusan yang menggambarkan masalah multi faktor atau multi kriteria yang kompleks ke dalam hirarki, yang dikembangkan oleh Thomas L. Saaty (2008). Saaty mendefinisikan hirarki sebagai representasi masalah kompleks dalam struktur *multi level* dimana tingkat pertama adalah tujuan, yang mengikuti tingkat, kriteria, sub kriteria, dan sebagainya. *AHP* sering digunakan sebagai metode untuk alasan berikut:

- Struktur hirarkis, sebagai konsekuensi dari kriteria yang dipilih, hingga sub kriteria yang paling dalam;
- Mempertimbangkan keabsahan sampai batas toleransi inkonsistensi dari berbagai kriteria dan alternatif yang dipilih oleh keputusan;

c. Memperhitungkan daya tahan.

Konsep dasar *AHP* adalah penggunaan matriks perbandingan berpasangan untuk menghasilkan nilai bobot relatif antara kriteria dan alternatif (Tabel 3.12). Kriteria dibandingkan dengan kriteria lain dalam hal seberapa penting pencapaian tujuan di atas (Saaty, 2008). Peralatan utama AHP adalah hirarki fungsional dengan masukan utama persepsi manusia. Adanya hirarki memungkinkan pemecahan masalah kompleks atau tidak terstruktur di subparts, kemudian menyusunnya menjadi bentuk hirarkis.

Tabel 3.12. Skala Perbandingan Berpasangan

Intensitas Kepentingan	Definisi	Deskripsi
1	Sama penting	Dua elemen berkontribusi sama terhadap tujuan
3	Cukup penting	Pengalaman dan penilaian sangat mendukung satu parameter dibandingkan parameter lainnya
5	Penting	Pengalaman dan penilaian sangat mendukung satu parameter dibandingkan parameter lainnya
7	Sangat penting	Satu parameter disukai sangat kuat dan dianggap lebih unggul dari yang lain; Dominasinya ditunjukkan dalam praktek
9	Sangat penting sekali	Bukti yang mendukung satu parameter lebih tinggi dari yang lain adalah urutan tertinggi afirmasi

(Sumber: Saaty, 2008)

3.7.2. Indeks Konsistensi (*CI*) and Rasio Konsistensi (*CR*)

Keluaran *AHP* harus konsisten untuk semua perbandingan berpasangan yang diukur dengan Indeks Konsistensi (*CI*) dan Konsistensi Rasio (*CR*). Penilaian untuk perbandingan antara satu kriteria dengan kriteria lain bebas satu sama lain sehingga hal ini dapat menyebabkan inkonsistensi. Saaty (1990) telah membuktikan bahwa indeks konsistensi dari matriks order "*n*" dapat diperoleh dengan rumus:

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)}$$

dimana:

CI : Consistency Index

λ_{max} : Nilai eigen terbesar dari matriks urutan "*n*"

Perhitungan akhir adalah rasio konsistensi; Ini adalah rasio CI dan indeks acak (RI); Nilai RI untuk empat parameter adalah 0.9. Ambang batas maksimum CI adalah = 0,1 dan $CR = 10\%$; Nilai rasional adalah ketika CI dan CR telah memenuhi nilai ambang maksimum. Nilai eigen terbesar diperoleh dengan menjumlahkan hasil perkalian jumlah kolom dengan vektor eigen. Batas inkonsistensi diukur dengan menggunakan rasio konsistensi (CR), yaitu perbandingan antara indeks konsistensi (CI) dan nilai acak generator (RI). Nilai ini tergantung pada urutan matriks n . Rasio konsistensi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Jika nilai CR kurang dari 10%, inkonsistensi masih dianggap dapat diterima.

Tabel 3.13. Indeks Random Konsistensi (RI)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

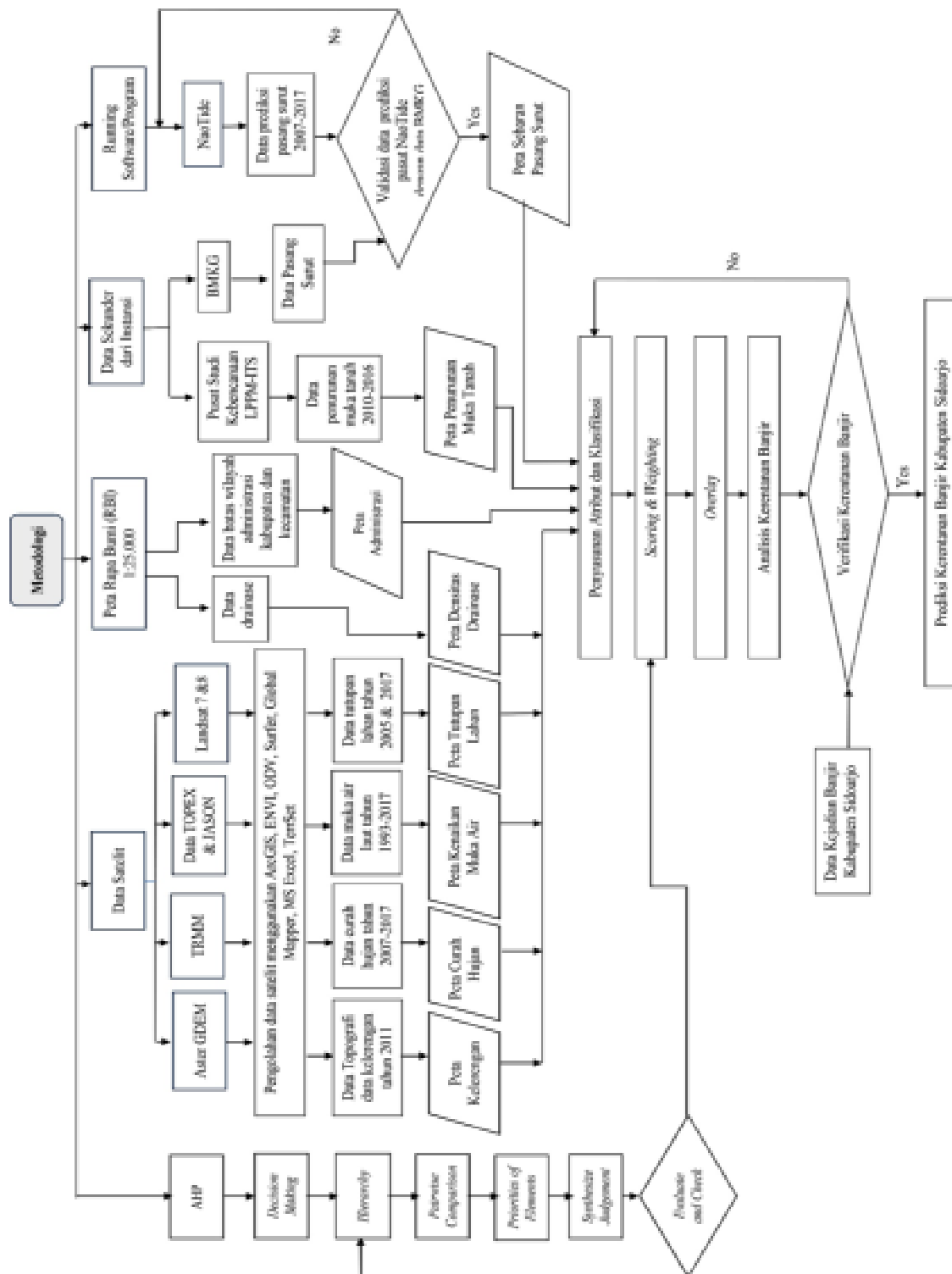
3.7.3. Peringkat Parameter Kerentanan Banjir

Penggunaan utama *AHP* adalah penentuan peringkat dan prioritas parameter multi kriteria. Kualitas kerangka prioritas mempengaruhi keefektifan sumber yang ada yang merupakan keputusan penting dari pengambil keputusan. Selanjutnya, para ahli biasanya menggunakan penilaian eksperimental mereka saat membuat keputusan (Rimba dkk., 2017).

Prosedur untuk menentukan bobot faktor desain (Saaty, 2008) adalah:

- Tentukan persentase tiap faktor untuk membedakan berat;
- Tetapkan faktor yang paling tidak penting dari langkah 1 dan asumsikan skala kepentingan di antara tujuan bersifat linier;
- Pentingnya faktor harus digolongkan dari 1 sampai 7, dimana 1 merupakan faktor yang paling tidak penting dan 7 adalah yang paling penting.

Pembobotan adalah pemberian bobot pada peta digital terhadap masing-masing parameter yang berpengaruh terhadap banjir. Makin besar pengaruh parameter terhadap kerentanan banjir. Tahapan-tahapan dalam penelitian ini digambarkan dalam diagram alir pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram alir prosedur penelitian

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa Parameter Kerentanan Banjir di Kabupaten Sidoarjo

Banjir dapat dibagi menjadi 2 (dua) jenis kejadian yaitu banjir yang terjadi di daerah yang biasanya tidak banjir dan kejadian banjir yang terjadi karena meluapnya air dari sungai disebabkan debit air lebih besar dibandingkan kapasitas sungainya (Lockwood (1987) dalam Kodoatie dan Sugiyanto (2002)). Kabupaten Sidoarjo merupakan kabupaten yang memiliki wilayah berupa daerah pesisir di wilayah bagian timur dan berbatasan langsung dengan wilayah perairan Selat Madura. Kejadian banjir yang sering terjadi di kabupaten ini, meliputi kedua jenis banjir yaitu banjir yang terjadi di daerah yang biasanya tidak banjir dan kejadian banjir karena meluapnya air dari sungai maupun dari laut (rob). Dalam penelitian ini dianalisis kerentanan banjir di Kabupaten Sidoarjo berdasarkan 7 (tujuh) parameter kerentanan banjir yaitu meliputi kelerengan, curah hujan, tutupan lahan, densitas drainase, penurunan muka tanah, pasang surut, dan kenaikan muka air laut. Ketujuh parameter dianalisis untuk masing-masing kontribusinya terhadap kejadian banjir di Kabupaten Sidoarjo.

4.1.1. Kelerengan

Kelerengan (slope) adalah ukuran kecuraman atau tingkat kemiringan fitur relatif terhadap bidang horizontal. Lereng biasanya dinyatakan sebagai persentase, sudut, atau rasio. Kelerengan rata-rata suatu fitur daratan dapat dihitung menggunakan garis kontur pada peta topografi. Untuk mengetahui kelerengan suatu fitur daratan, maka jarak horisontal dan jarak vertikal antara dua titik pada garis sejajar dengan fitur harus ditentukan terlebih dahulu. Kelerengan diperoleh dari membagi jarak vertikal dengan jarak horisontal. Hasil rasio yang dikalikan dengan angka 100, akan menghasilkan persentase kelerengan.

Kelerengan di Kabupaten Sidoarjo diperoleh hasil dalam persentase berkisar pada rentang 0 – 5%. Apabila rentang kelerengan tersebut diklasifikasikan berdasarkan terminologi kelerengan menurut Haynes (1998) pada Tabel 3.6, maka kelerengan di Kabupaten Sidoarjo dapat diklasifikasikan menjadi 3 (tiga) klasifikasi

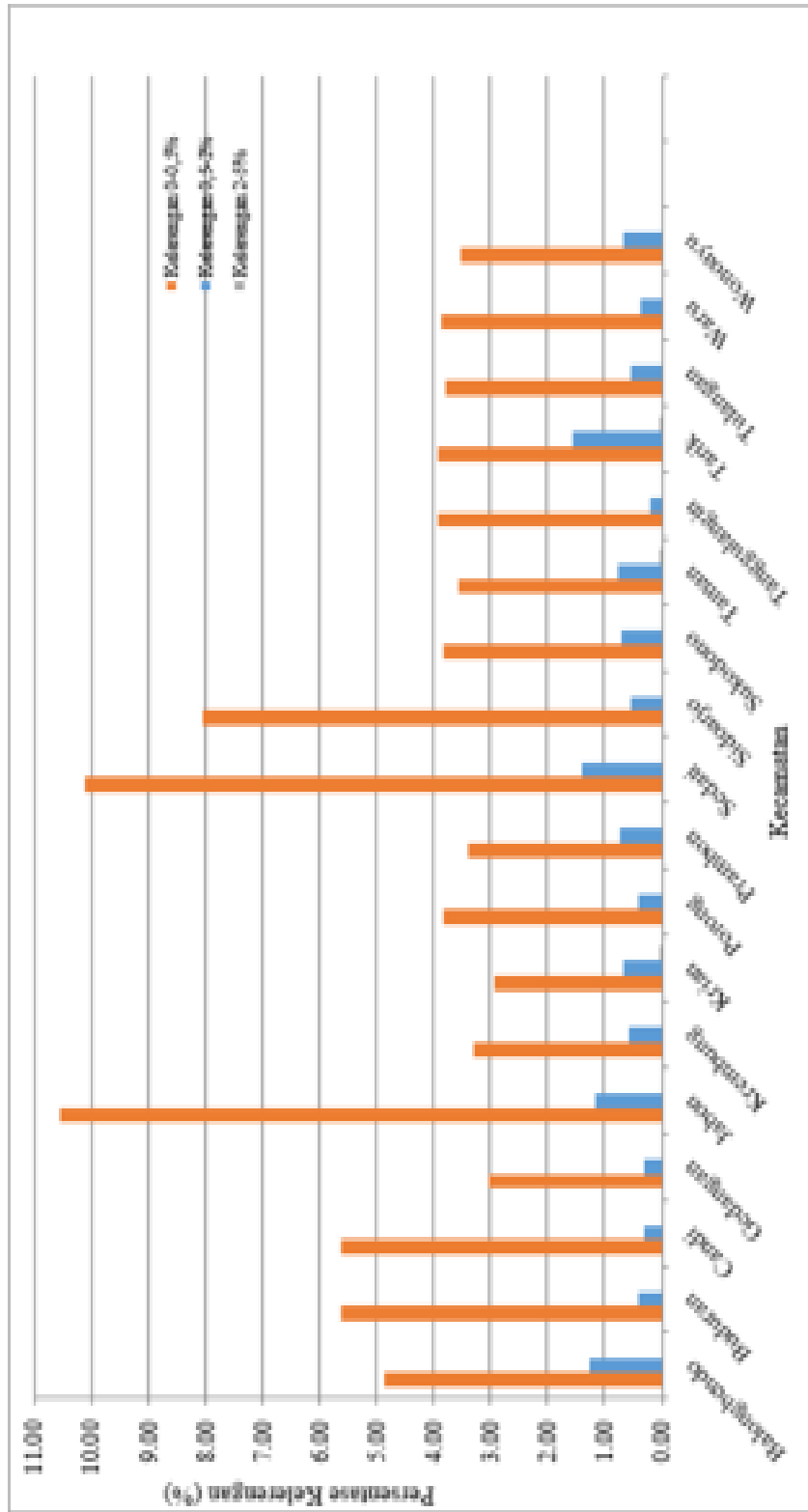
yaitu rentang 0% – 0,5% (*level*), >0,5 - 2% (*near level*) dan 2 - 5% (*very gentle slopes*). Dari ketiga kategori kelerengan tersebut, Kabupaten Sidoarjo mempunyai wilayah daratan yang masih dapat dikategori dalam daratan berkelerengan rendah.

Data sebaran kelerengan pada tiap kecamatan di Kabupaten Sidoarjo berdasarkan luas per klasifikasi (m²) dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Sebaran Luas Klasifikasi Kelerengan Wilayah Kecamatan di Kabupaten Sidoarjo

No	Kecamatan	Luas per Klasifikasi (m ²)		
		0 – 0,5	>0,5 - 2	>2 - 5
1	Balongbendo	35.241.037,58	9.101.968,47	0
2	Buduran	40.851.003,99	2.809.551,72	0
3	Candi	40.768.825,51	2.099.203,20	0
4	Gedangan	21.918.467,82	2.093.733,26	0
5	Jabon	76.536.995,04	8.365.543,59	0
6	Krembung	23.765.533,24	4.136.672,35	0
7	Krian	21.137.910,53	4.745.973,16	10.644,89
8	Porong	27.714.444,69	3.008.274,10	0
9	Prambon	24.678.423,61	5.218.018,85	0
10	Sedati	73.265.358,87	10.024.951,36	0
11	Sidoarjo	58.326.910,83	3.894.405,13	0
12	Sukodono	27.679.055,71	5.182.967,20	0
13	Taman	25.819.676,03	5.545.439,84	1.947,67
14	Tanggulangin	28.461.125,20	1.332.292,89	0
15	Tarik	28.422.128,31	11.292.497,37	20.416,75
16	Tulangan	27.571.815,20	3.748.608,24	0
17	Waru	28.054.300,30	2.582.089,78	0
18	Wonoayu	25.586.712,63	4.706.244,23	0

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa klasifikasi luasan untuk 2-5% kelerengan terdapat di Kecamatan Krian, Taman dan Tarik. Klasifikasi kelerengan ini dapat dikategorikan mempunyai kelerengan yang landai (*very gentle slope*). Untuk kelerengan 0,5 - 2% mendominasi wilayah Kecamatan Tarik, Sedati dan Balongbendo, dengan nilai luasan sebesar lebih dari 8.000.000 m². Sedangkan untuk sebaran luasan untuk klasifikasi 0-0,5% kelerengan mendominasi wilayah kecamatan Jabon, Sedati dan Sidoarjo. Ketiga kecamatan tersebut mempunyai luasan wilayah lebih dari 50.000.000 m² berkelerengan sangat rendah (0-0,5%) dan merupakan kecamatan yang sebagian besar wilayahnya adalah berupa pesisir.

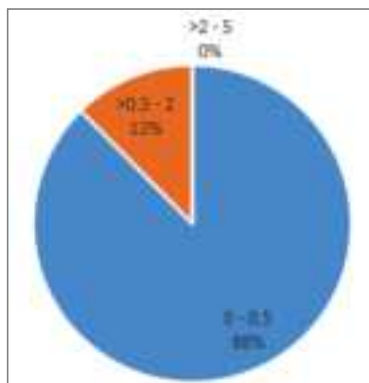


Gambar 4.1. Grafik sebaran persentase kelerengan per kecamatan di Kabupaten Sidoarjo

Berdasarkan Gambar 4.1, maka terlihat presentase kelerengan 0-0,5% di Kabupaten Sidoarjo sebagian besar berada di wilayah Kecamatan Sedati dan Kecamatan Jabon, yaitu sebesar 10%, sedangkan di Kecamatan Sidoarjo sebesar 8%. Sedangkan untuk presentase kelerengan 0,5-2% sebanyak 1,56% berada di Kecamatan Tarik, 1,38% berada di Kecamatan Sedati, dan 1,25% berada di Kecamatan Balongbendo. Sedangkan kelerengan 2-5% hanya ada di 3 wilayah, yaitu 0,0028% berada di Kecamatan Tarik, 0,0015% di Kecamatan Krian, dan 0,0003% di Kecamatan Taman. Untuk mengetahui presentase kelerengan secara keseluruhan di Kabupaten Sidoarjo, bisa dilihat pada Tabel 4.2. Luas wilayah Kabupaten Sidoarjo didominasi oleh dataran rendah dengan kelerengan $< 0,5\%$ dengan luasan sebesar 635.799.725,08 m².

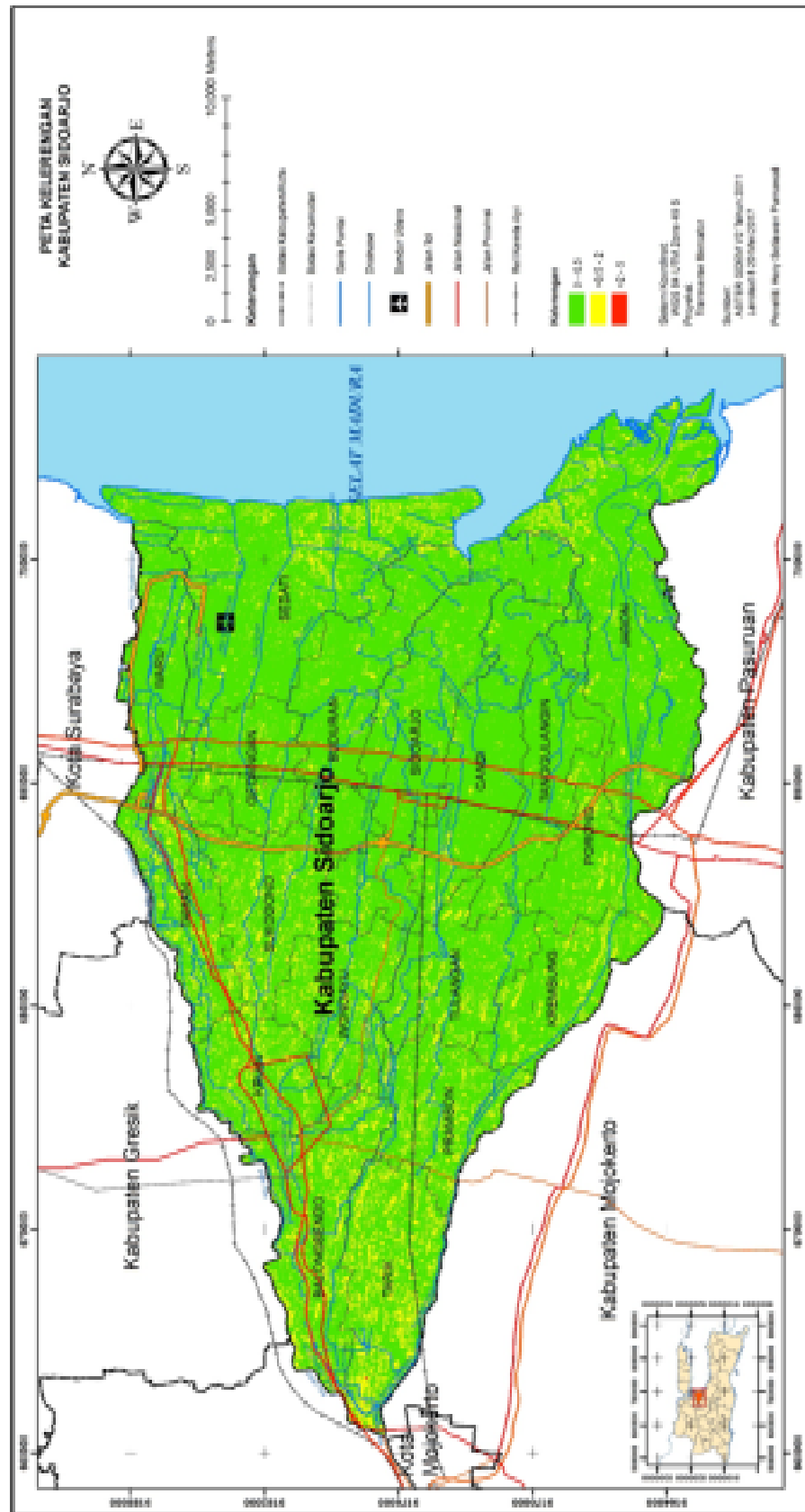
Tabel 4.2. Kelerengan di Kabupaten Sidoarjo

Klasifikasi	Luas (m ²)	Presentase
0 - 0.5	635.799.725,08	87,609
>0.5 - 2	89.888.434,74	12,386
>2 - 5	33.009,31	0.005
Total	725.721.169,13	100.000



Gambar 4.2. Diagram persentase kelerengan di Kabupaten Sidoarjo

Berdasarkan Tabel 4.2, bisa dianalisa presentase kelerengan di Kabupaten Sidoarjo seperti terlihat pada Gambar 4.2. Berdasarkan pada Gambar 4.2 terlihat kelerengan di Kabupaten Sidoarjo didominasi berada pada kelerengan 0-0.5%, yaitu sebesar 88%, kelerengan 0.5-2% sebesar 12% wilayahnya, serta hanya sedikit yang berada pada kelerengan 2-5%, yaitu hanya 0.005%. untuk peta sebaran kelerengan Kabupaten Sidoarjo sebagaimana pada Gambar 4.3



Gambar 4.3. Peta kelerengan Kabupaten Sidoarjo

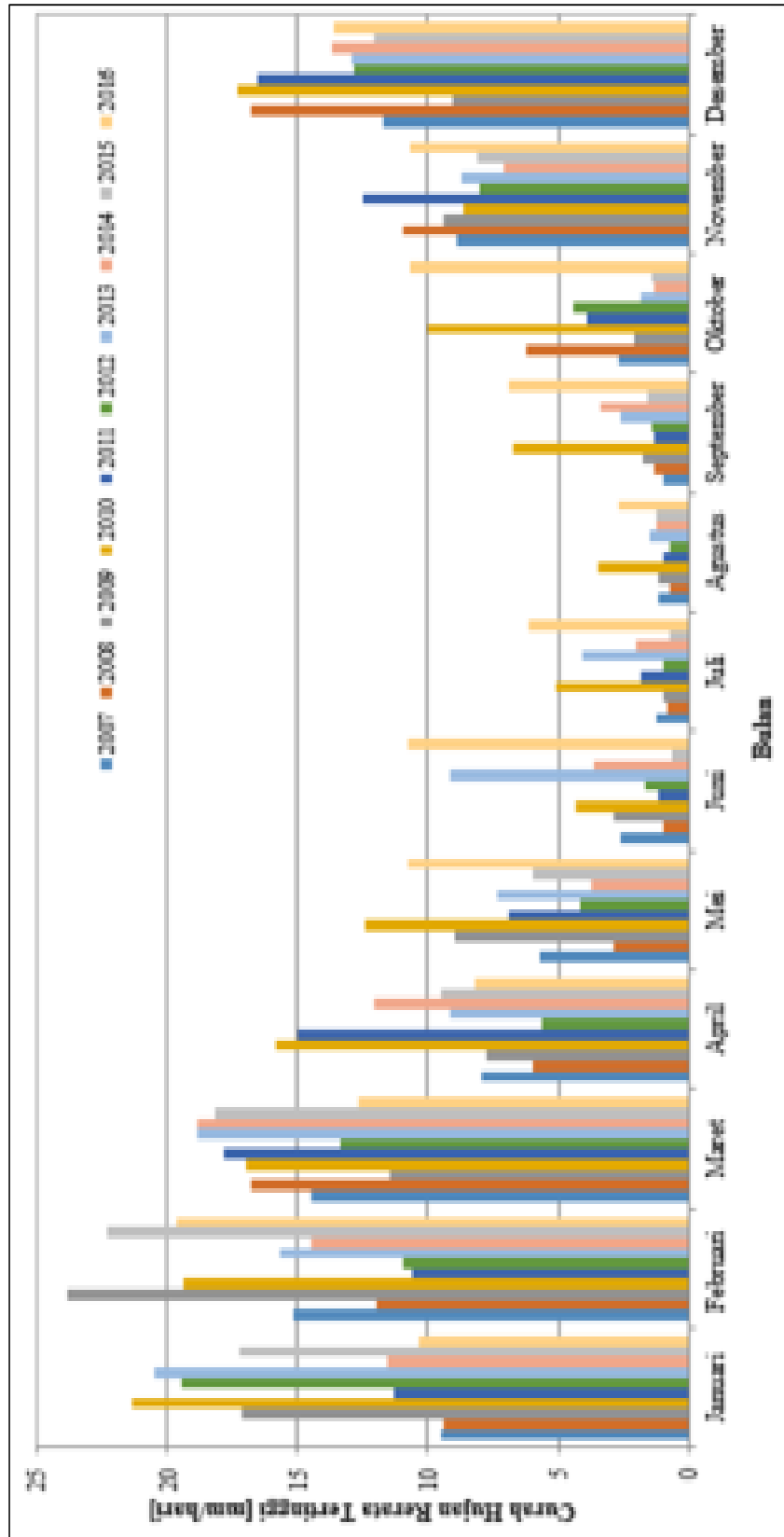
4.1.2. Curah Hujan

Curah hujan di Kabupaten Sidoarjo dianalisis berdasarkan data curah hujan TRMM skala 1: 25.000, dianalisis untuk rentang waktu 10 tahun antara tahun 2007 sampai dengan 2016. Data curah hujan dianalisis baik secara temporal maupun spasial. Sebaran temporal curah hujan 10 tahun, dianalisis waktu-waktu puncak terjadinya hujan. Waktu puncak hujan ini didasarkan pada debit curah hujan yang tertinggi. Dimana debit curah hujan yang tinggi dapat berpotensi menimbulkan banjir di wilayah Kabupaten Sidoarjo. Selain analisis temporal, curah hujan juga dianalisis secara spasial. Hasil analisis spasial berupa sebaran curah hujan di tiap-tiap kecamatan di Kabupaten Sidoarjo. Dari kedua analisa (temporal dan spasial), dapat diketahui waktu dan wilayah rentan banjir di kabupaten ini.

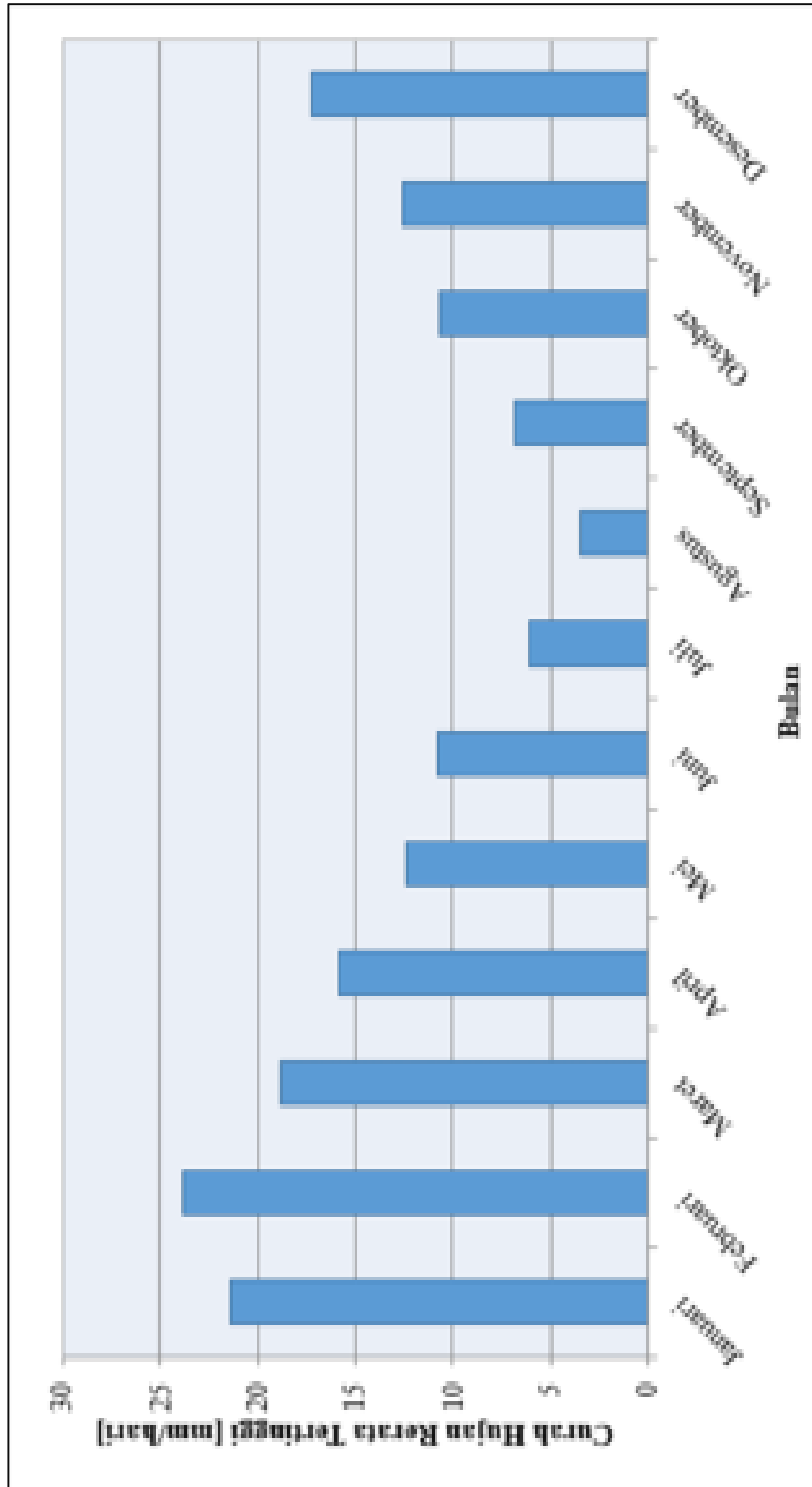
4.1.2.1. Analisis Sebaran Curah Hujan Secara Temporal

Sebaran curah hujan secara temporal dianalisis tiap tahunnya mulai dari tahun 2007 sampai dengan 2016 (Gambar 4.4-4.6). Curah hujan rata-rata untuk rentang tahun tersebut, curah hujan di Kabupaten Sidoarjo mempunyai puncak debit tertinggi terjadi pada bulan November-April, sedangkan debit terendah terjadi pada rentang bulan Maret-Oktober. Sehingga pada bulan-bulan antara Bulan November sampai dengan April adalah bulan yang harus diwaspadai untuk kerentanan banjir yang besar potensinya terjadi.

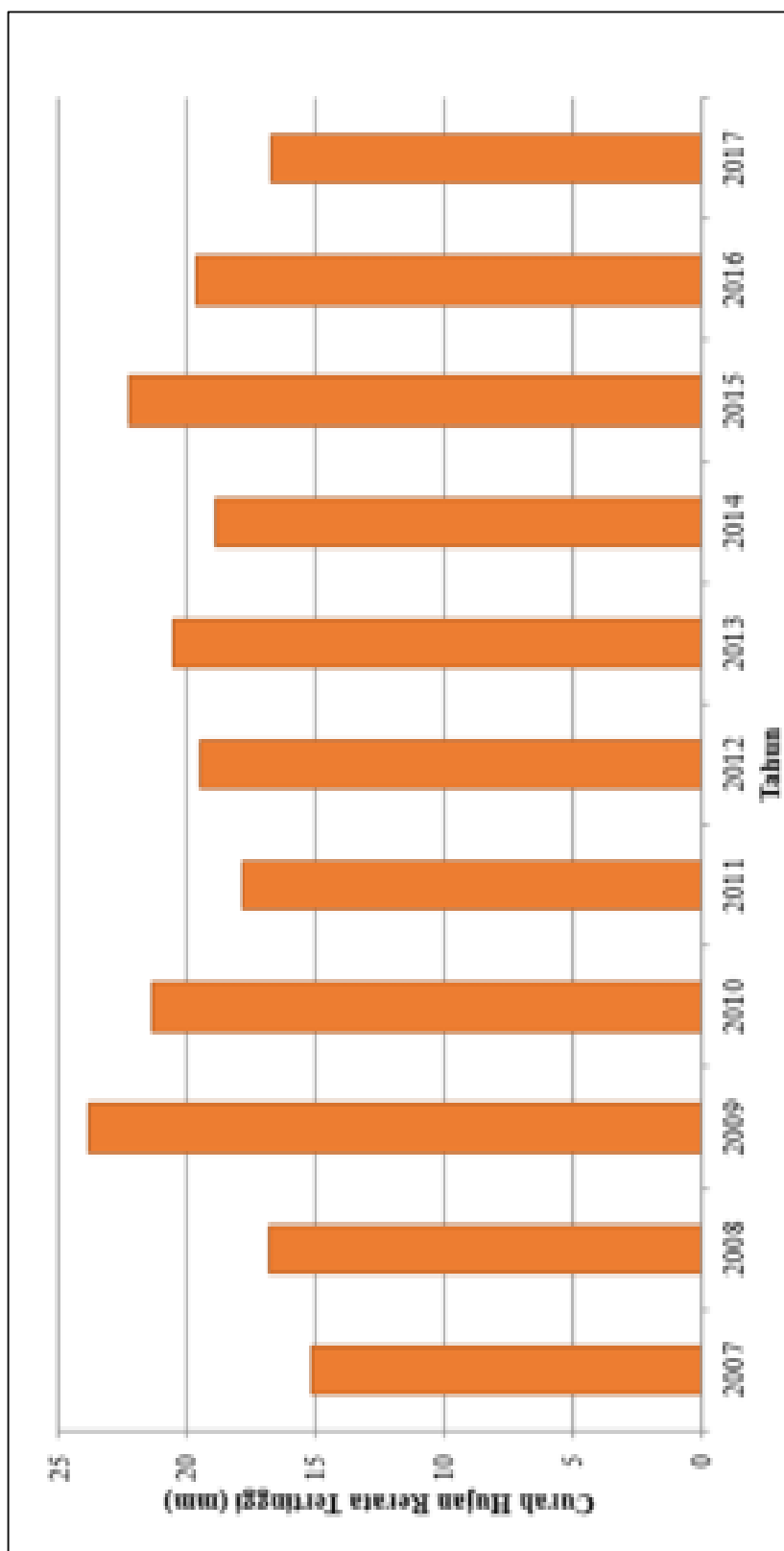
Gambar 4.4 merupakan grafik perbandingan curah hujan tiap bulan per tahunnya. Dari sebarannya, bulan Januari, Februari dan Maret merupakan bulan-bulan dengan curah hujan tinggi, yaitu berkisar antara 9 - 23 mm/hari. Sedangkan pada bulan Juni, Juli, Agustus dan September adalah bulan-bulan dengan curah hujan rendah. Dari data pada Gambar 4.4 kemudian dapat diperoleh nilai rerata curah hujan bulanan dari analisa 10 tahun (2007-2016) sebagaimana pada Gambar 4.5, serta rerata curah hujan tiap tahun mulai dari tahun 2007 sampai tahun 2016. Dari gambar 4.5 tersebut, diperoleh data rerata 10 tahunan bahwa bulan dengan puncak hujan tertinggi adalah bulan Februari dan bulan dengan curah hujan rendah pada Bulan Agustus. Oleh karena itu perlu diwaspadai potensi bahaya banjir rentang bulan November-April dengan puncaknya bulan Februari.



Gambar 4.4. Grafik curah hujan rerata tertinggi tiap bulan untuk tahun 2007-2016



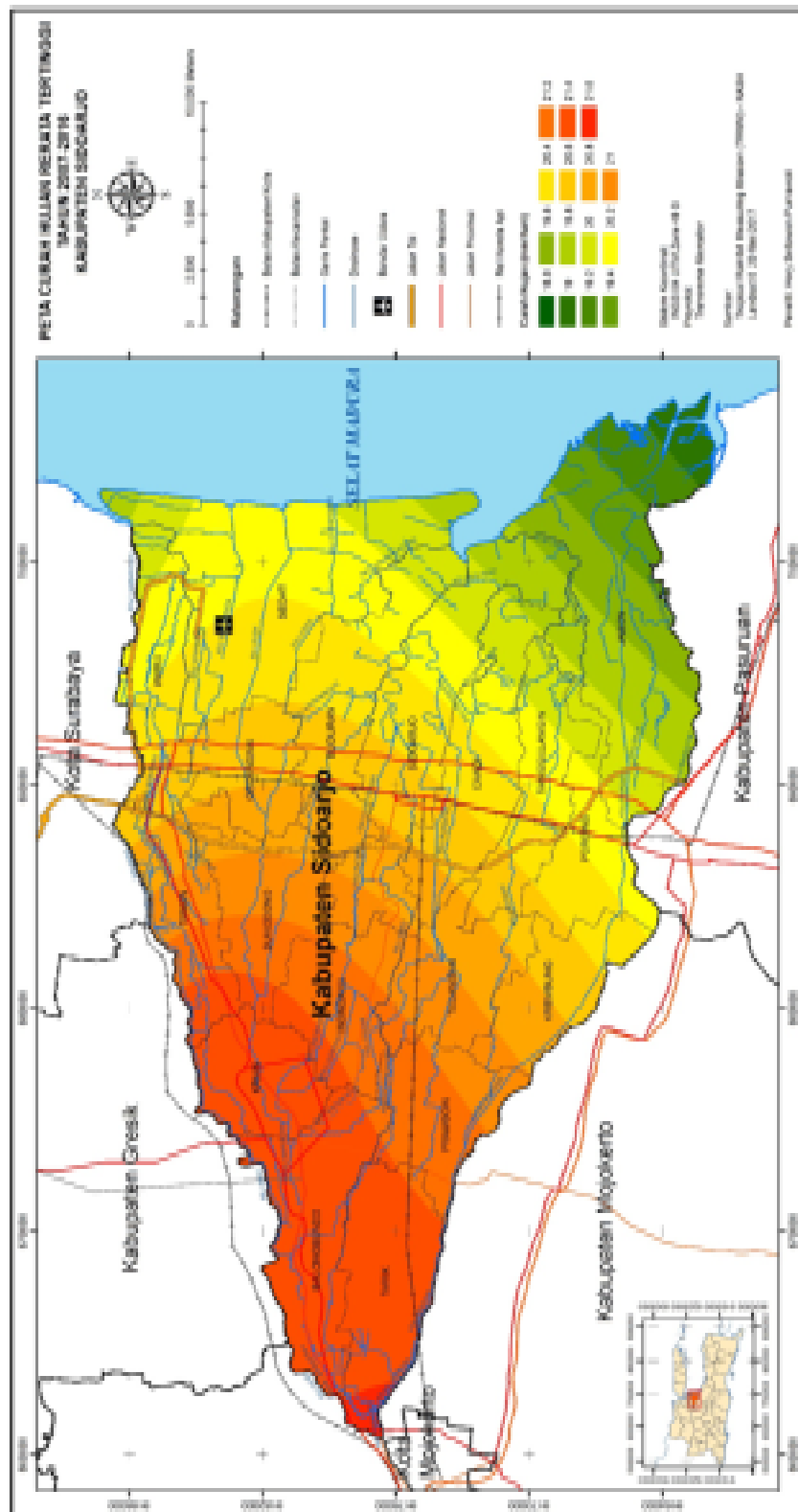
Gambar 4.5. Grafik sebaran rerata tertinggi curah hujan 10 tahunan (2007-2016) Kabupaten Sidoarjo



Gambar 4.6. Grafik curah hujan rerata tertinggi tiap tahun di Kabupaten Sidoarjo

4.1.2.2. Analisis Sebaran Curah Hujan Secara Spasial

Sebaran curah hujan di Kabupaten Sidoarjo selain dianalisis secara temporal, juga dianalisis secara spasial dengan menggunakan peta. Peta sebaran spasial dibuat per tahun mulai 2007–2016 (Gambar 4.7). Berdasarkan peta sebaran curah hujan per kecamatan di Kabupaten Sidoarjo, diperoleh data bahwa curah hujan tinggi terdapat di wilayah Kecamatan Balongbendo, Tarik, Krian, Sukodono, Wonoayu, Prambon, Taman dan Tulangan dengan nilai curah hujan lebih dari 21 mm/hari. Sedangkan curah hujan yang rendah apabila dibandingkan dengan data sebaran curah hujan di Kabupaten Sidoarjo terdapat pada Kecamatan Jabon, Porong, Tanggulangin, Sedati dan Waru. apabila dikategorikan berdasarkan range interfal klasifikasi, maka daerah dengan currah hujan 5-20 mm/hari merupakan curah hujan ringan (*light rain*), meliputi Kecamatan Jabon dan sebagian wilayah kecamatan waru. Untuk daerah dengan kategori curah hujan diatas 20 mm/hari masuk dalam kategori cukup tinggi (*moderate rain*), meliputi hampir semua kecamatan di Kabupaten Sidoarjo kecuali Jabon dan sebagian wilayah Waru. Hal ini membuktikan bahwa curah hujan di Kabupaten Sidoarjo berdasarkan sebarannya hampir merata yaitu dengan curah hujan cukup tinggi. sehingga wilayah Kabupaten Sidoarjo hampir seluruhnya berpotensi terjadinya banjir pada musim-musim penghujan.



Gambar 4.7. Peta sebaran curah hujan rerata 10 tahun di wilayah Kabupaten Sidoarjo

4.1.3. Tutupan Lahan

Data tutupan lahan yang digunakan adalah berdasarkan citra satelit tahun 2005 dan 2017. Data tersebut merupakan interpretasi dan analisa berdasarkan citra satelit Landsat 7 berakuisi tanggal 2 Oktober 2005 dan Landsat 8 tanggal 20 Mei 2017 seperti yang terlihat pada Gambar 4.8 dan 4.9.

4.1.3.1. Tutupan Lahan Tahun 2005

Untuk menganalisa tutupan lahan tahun 2005, citra satelit Landsat 7 dilakukan *cropping* sesuai wilayah penelitian, yaitu Kabupaten Sidoarjo, dilakukan *pan sharpening*, dan dilakukan klasifikasi. Hasil klasifikasi tersebut kemudian bisa ditampilkan sesuai dengan analisa yang diinginkan. Berdasarkan hasil klasifikasi juga bisa didapatkan jenis tutupan lahan dan luasannya.

Jenis tutupan lahan yang ada pada masing-masing kecamatan, bisa dilihat pada Gambar 4.18. Sedangkan pada Gambar 4.17 terlihat perbandingan prosentase jenis tutupan lahan pada masing-masing kecamatan, sehingga bisa diketahui karakteristik masing-masing kecamatan, yaitu di antaranya:

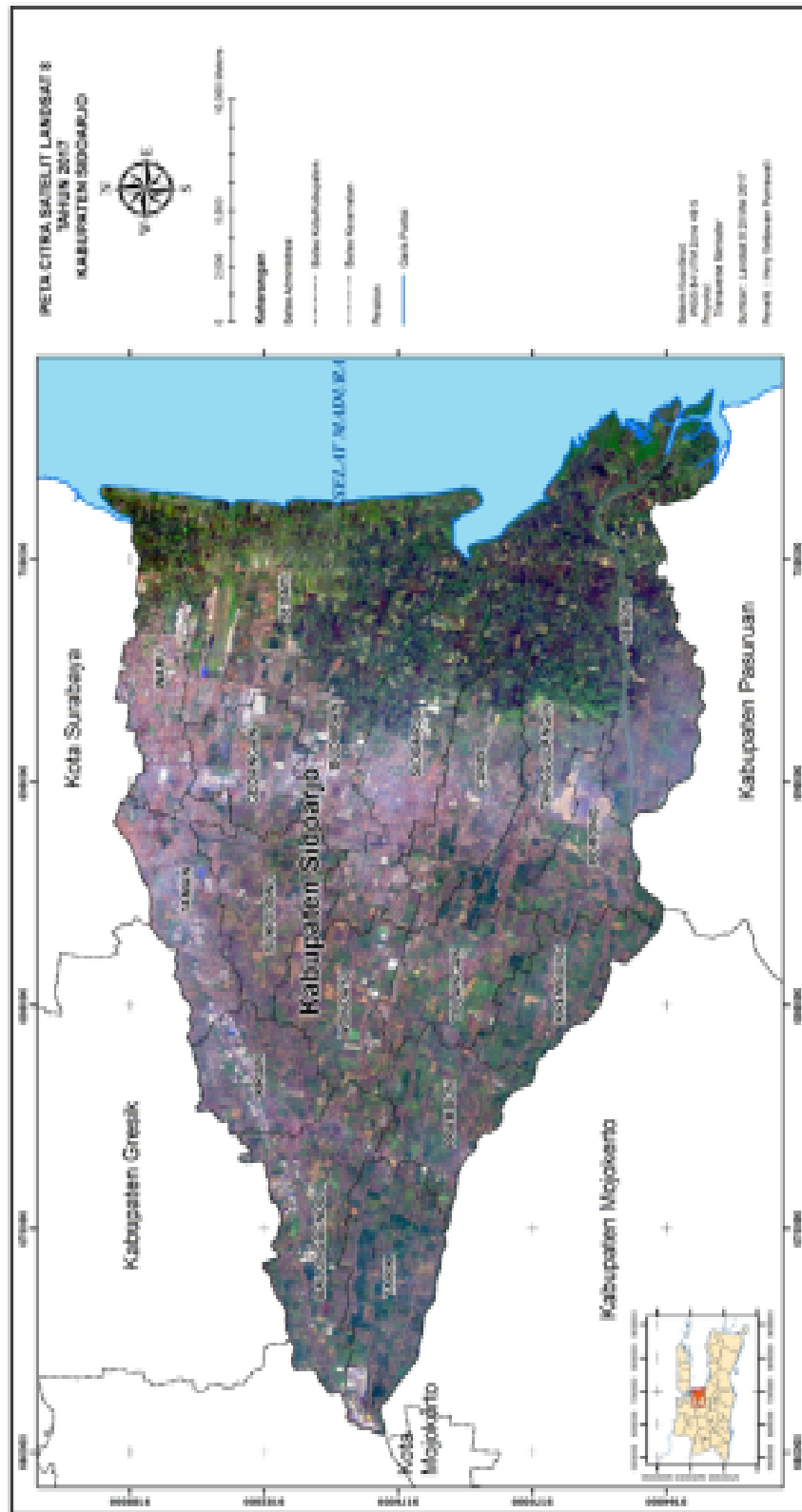
1. Kecamatan Balongbendo 65% wilayahnya berupa lahan pertanian, dan hanya 26% yang merupakan permukiman;
2. Kecamatan Buduran didominasi oleh lahan pertanian (39%) dan tambak (31%), sedangkan permukiman sebesar 16% dari luas wilayahnya;
3. Kecamatan Candi 44% wilayahnya berupa lahan pertanian, 31% berupa permukiman, dan 18% berupa tambak;
4. Kecamatan Gedangan 57% wilayahnya merupakan lahan pertanian dan 25% merupakan permukiman;
5. Kecamatan Jabon 44% wilayahnya merupakan tambak, 30% lahan pertanian, dan permukiman hanya sebesar 8%;
6. Kecamatan Krembung, hampir sebagian besar wilayahnya merupakan lahan pertanian, yaitu sebesar 81%, sedangkan permukiman hanya sebesar 12%;
7. Kecamatan Krian wilayahnya didominasi oleh lahan pertanian, yaitu sebesar 68%, dan permukimannya sebesar 23% dari wilayahnya;
8. Kecamatan Porong wilayahnya didominasi oleh lahan pertanian, yaitu sebesar 64%, permukimannya sebesar 16%, dan tambak sebesar 11%;

9. Kecamatan Prambon sebagian besar wilayahnya merupakan lahan pertanian, yaitu sebesar 82%, dan permukiman hanya sebesar 8% luas wilayahnya;
10. Kecamatan Sedati sebagian wilayahnya merupakan tambak, yaitu sebesar 51%, lahan pertanian sebesar 21%, dan permukiman sebesar 12%;
11. Kecamatan Sidoarjo meski berada di pusat kota, tetapi masih mempunyai tutupan lahan berupa tambak sebesar 32%, permukiman sebesar 29%, dan lahan pertanian sebesar 28%;
12. Kecamatan Sukodono sebagian besar wilayahnya didominasi oleh lahan pertanian, yaitu sebesar 79%, sedangkan permukiman dan tanah lapang masing-masing sebesar 8%;
13. Kecamatan Taman sebagian wilayahnya merupakan lahan pertanian, yaitu sebesar 56%, sedangkan permukiman sebesar 34%;
14. Kecamatan Tanggulangin sebagian wilayahnya merupakan lahan pertanian, yaitu sebesar 54%, sedangkan permukiman sebesar 27%;
15. Kecamatan Tarik sebagian besar wilayahnya didominasi oleh lahan pertanian, yaitu sebesar 73%, sedangkan permukiman sebesar 13%;
16. Kecamatan Tulangan sebagian besar wilayahnya didominasi oleh lahan pertanian, yaitu sebesar 79%, sedangkan permukiman sebesar 15%;
17. Kecamatan Waru mempunyai tutupan lahan terbanyak berupa permukiman, yaitu sebesar 52%, pertanian sebesar 26%, dan tambak sebesar 17%;
18. Kecamatan Wonoayu sebagian besar wilayahnya didominasi oleh lahan pertanian, yaitu sebesar 77%, sedangkan permukiman sebesar 12%.

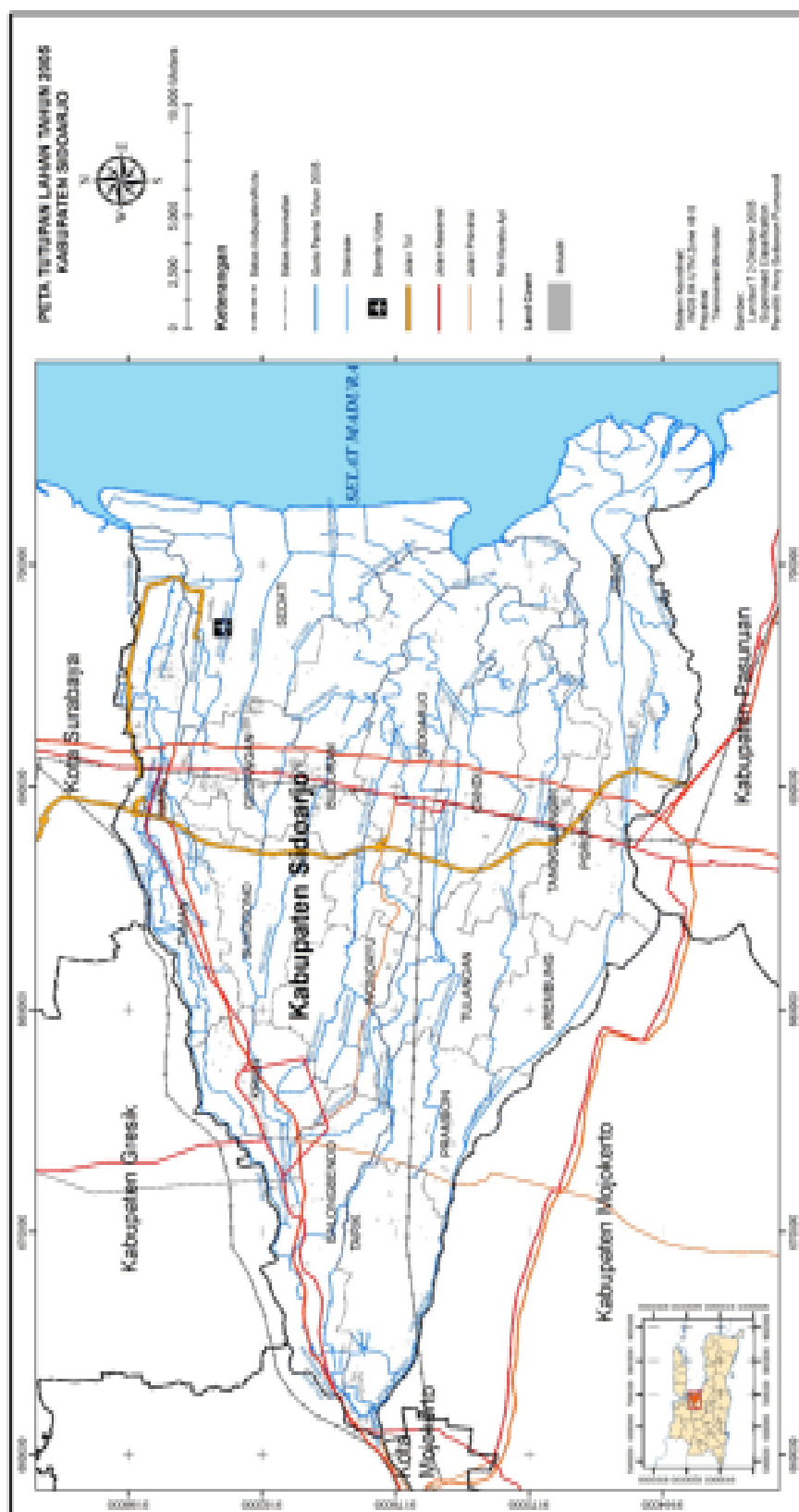
Tabel 4.3 memperlihatkan luas masing-masing tutupan lahan di Kabupaten Sidoarjo pada tahun 2005, sedangkan untuk peta sebaran tutupan lahan yang berupa industri, mangrove, perairan, permukiman, pertanian, tambak, dan tanah lapang, bisa dilihat pada Gambar 4.10-4.16. Berdasarkan sebaran jenis tutupan lahan, industri terbanyak berada di Kecamatan Gedangan, mangrove terbanyak berada di Kecamatan Sedati, perairan terbanyak berada di Kecamatan Jabon, permukiman terbanyak berada di Kecamatan Sidoarjo, pertanian terbanyak berada di Kecamatan Balongbendo, tambak terbanyak berada di Kecamatan Sedati dan tutupan lahan yang masih berupa tanah lapang terbuka terbanyak berada di Kecamatan Tarik.



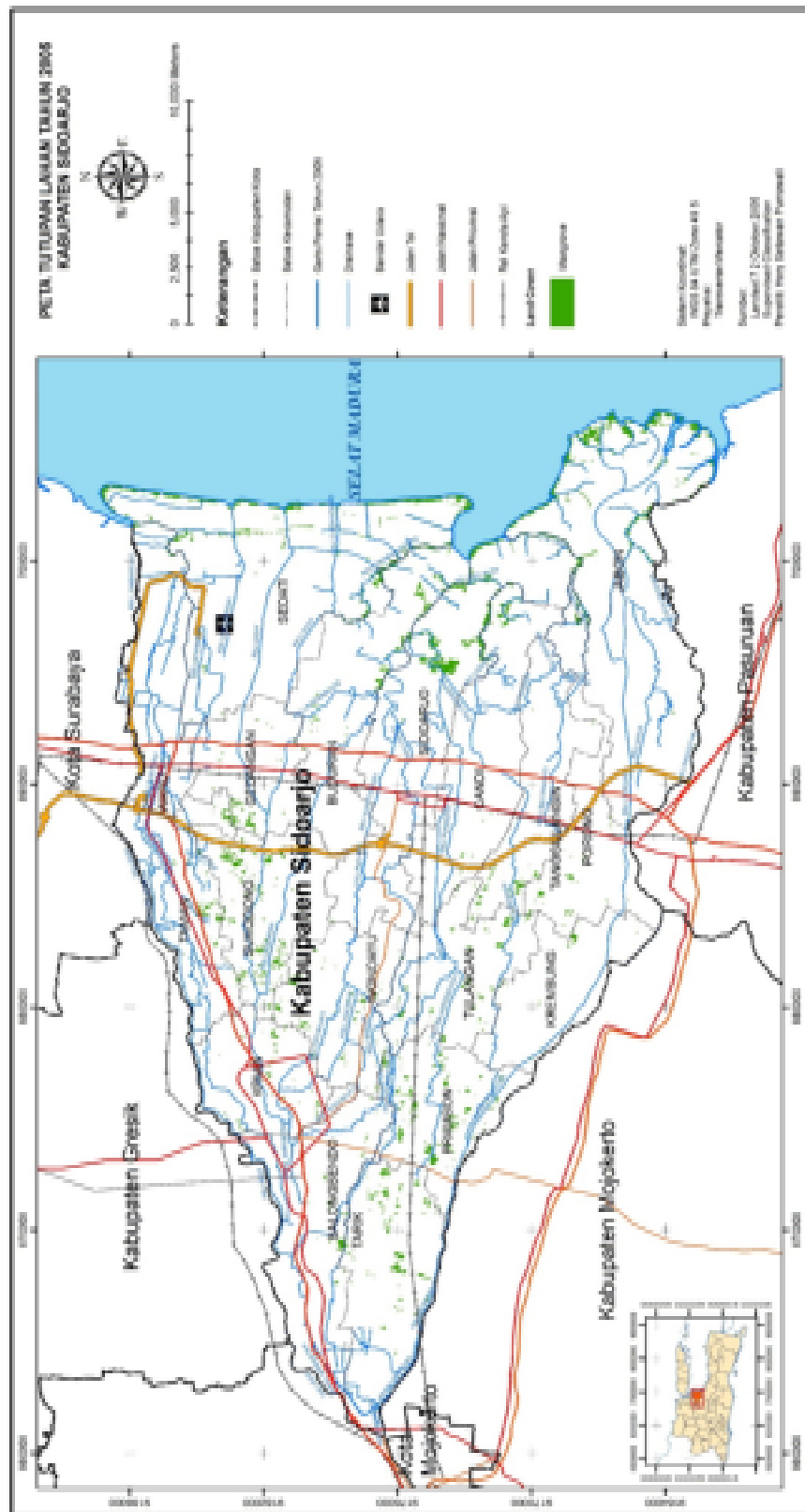
Gambar 4.8. Peta Citra satelit Landsat 7 Tahun 2005



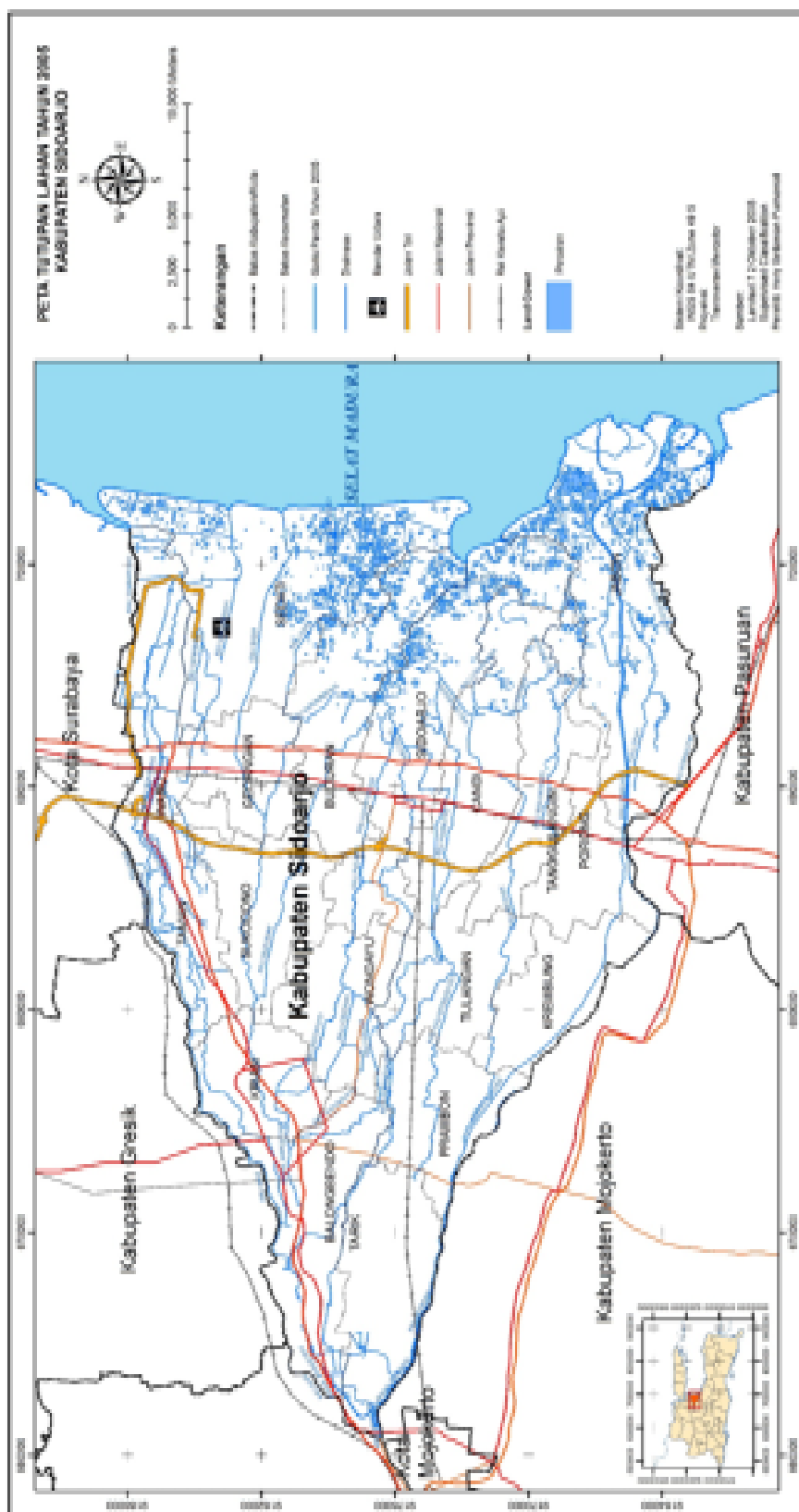
Gambar 4.9. Peta Citra satelit Landsat 8 Tahun 2017



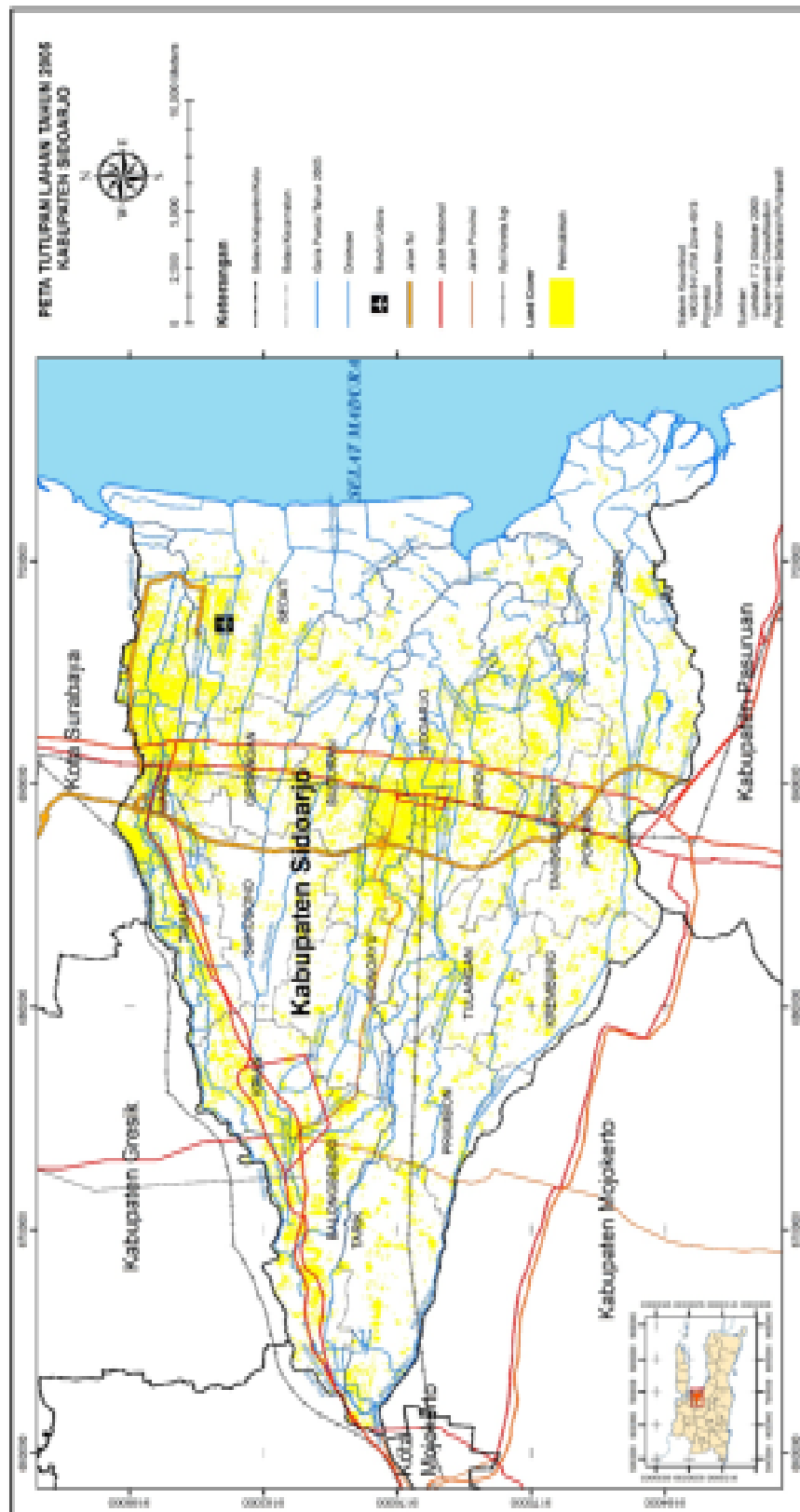
Gambar 4.10. Sebaran industri di Kabupaten Sidoarjo tahun 2005



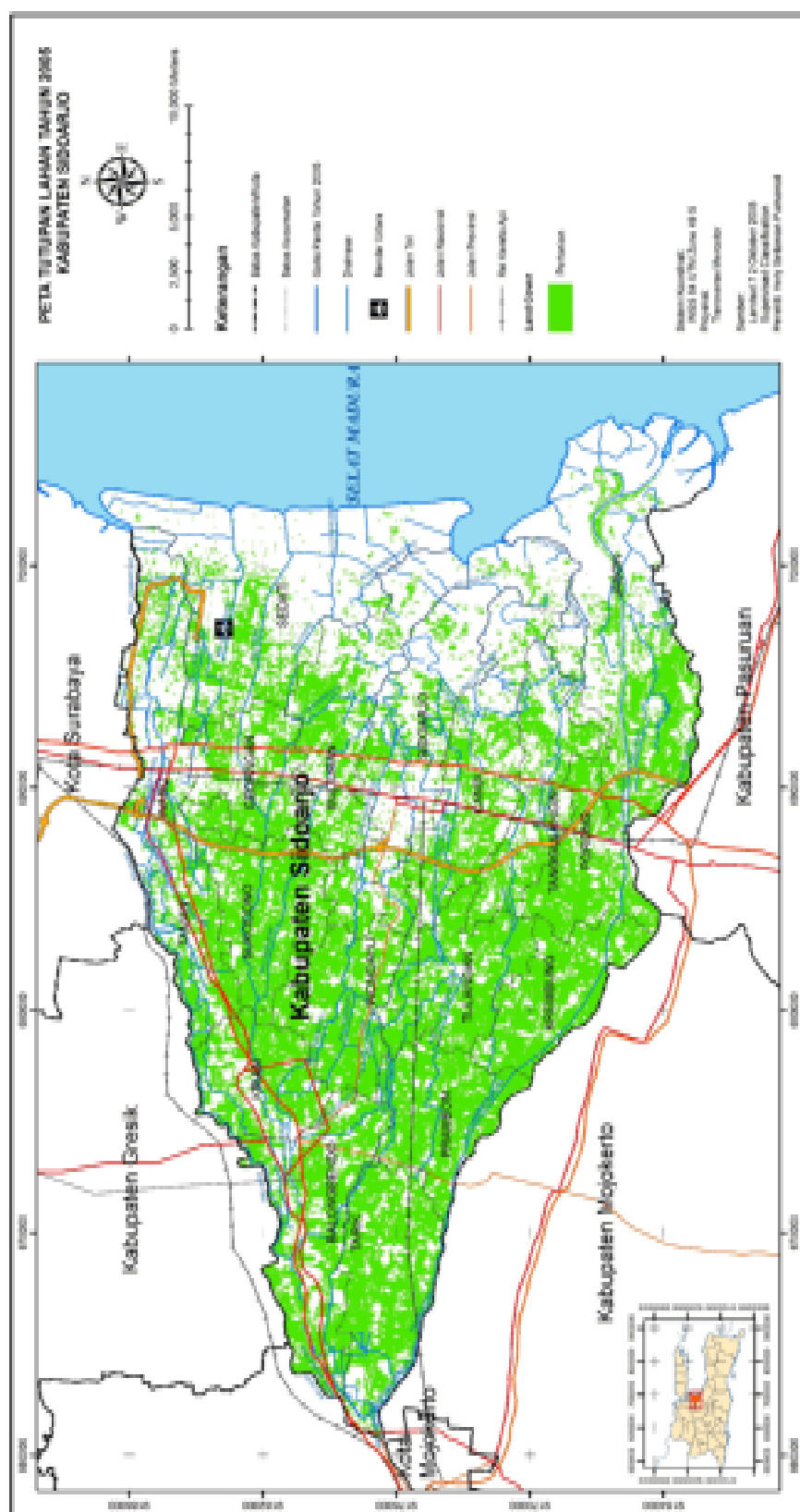
Gambar 4.11. Sebaran mangrove di Kabupaten Sidoarjo tahun 2005



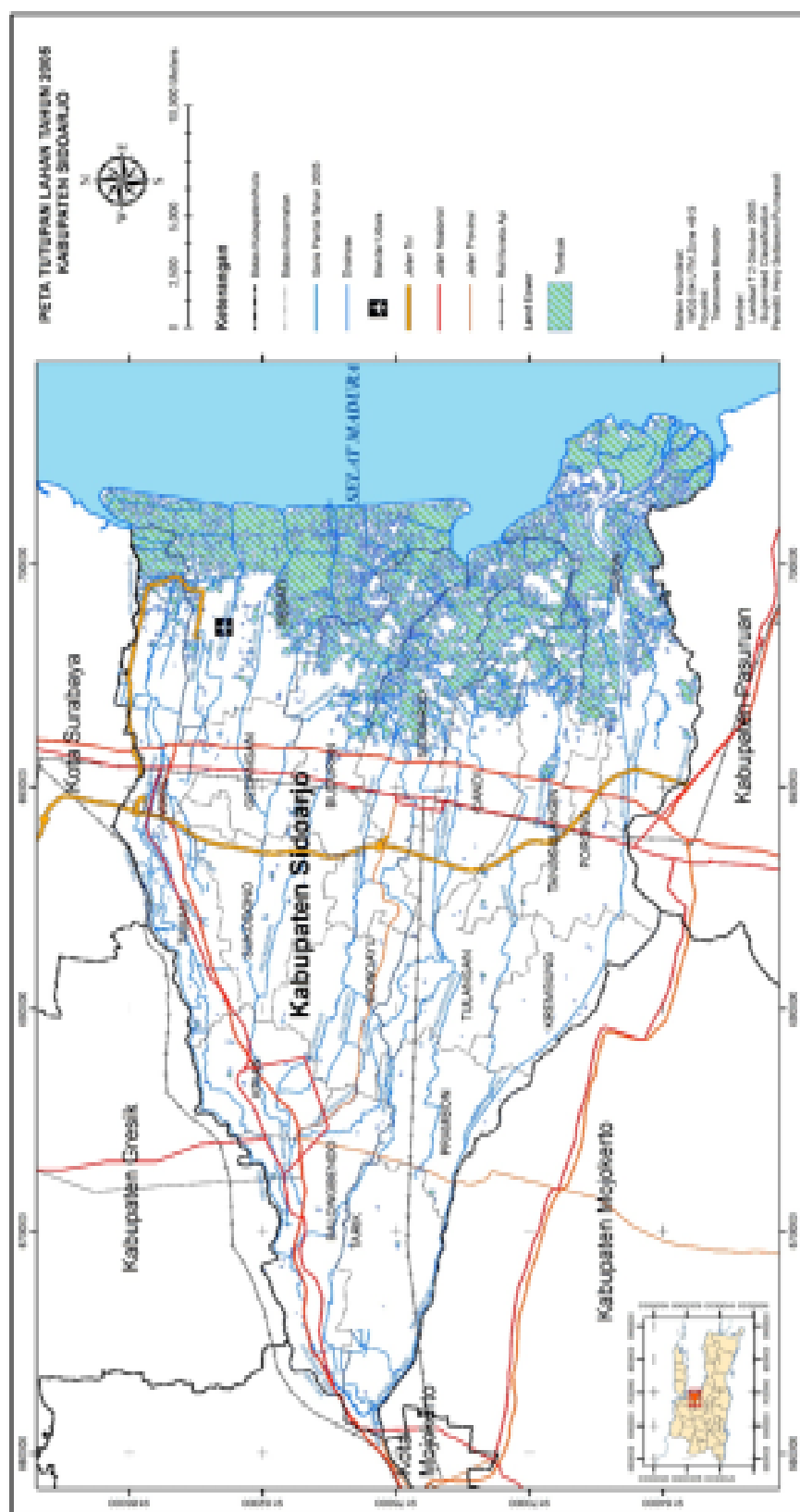
Gambar 4.12. Sebaran perairan di Kabupaten Sidoarjo tahun 2005



Gambar 4.13. Sebaran permukiman di Kabupaten Sidoarjo tahun 2005



Gambar 4.14. Sebaran pertanian di Kabupaten Sidoarjo tahun 2005



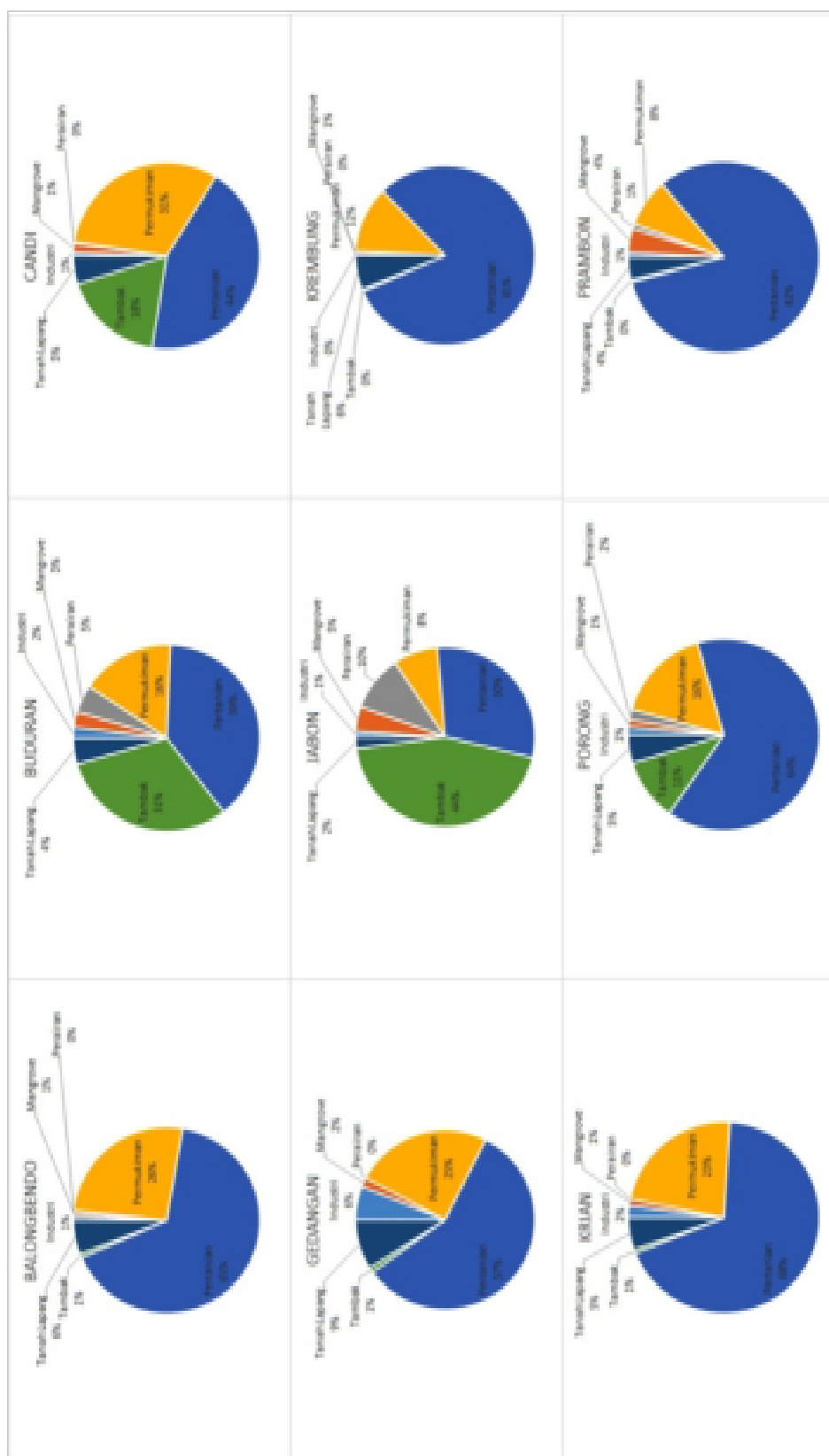
Gambar 4.15. Sebaran tambak di Kabupaten Sidoarjo tahun 2005



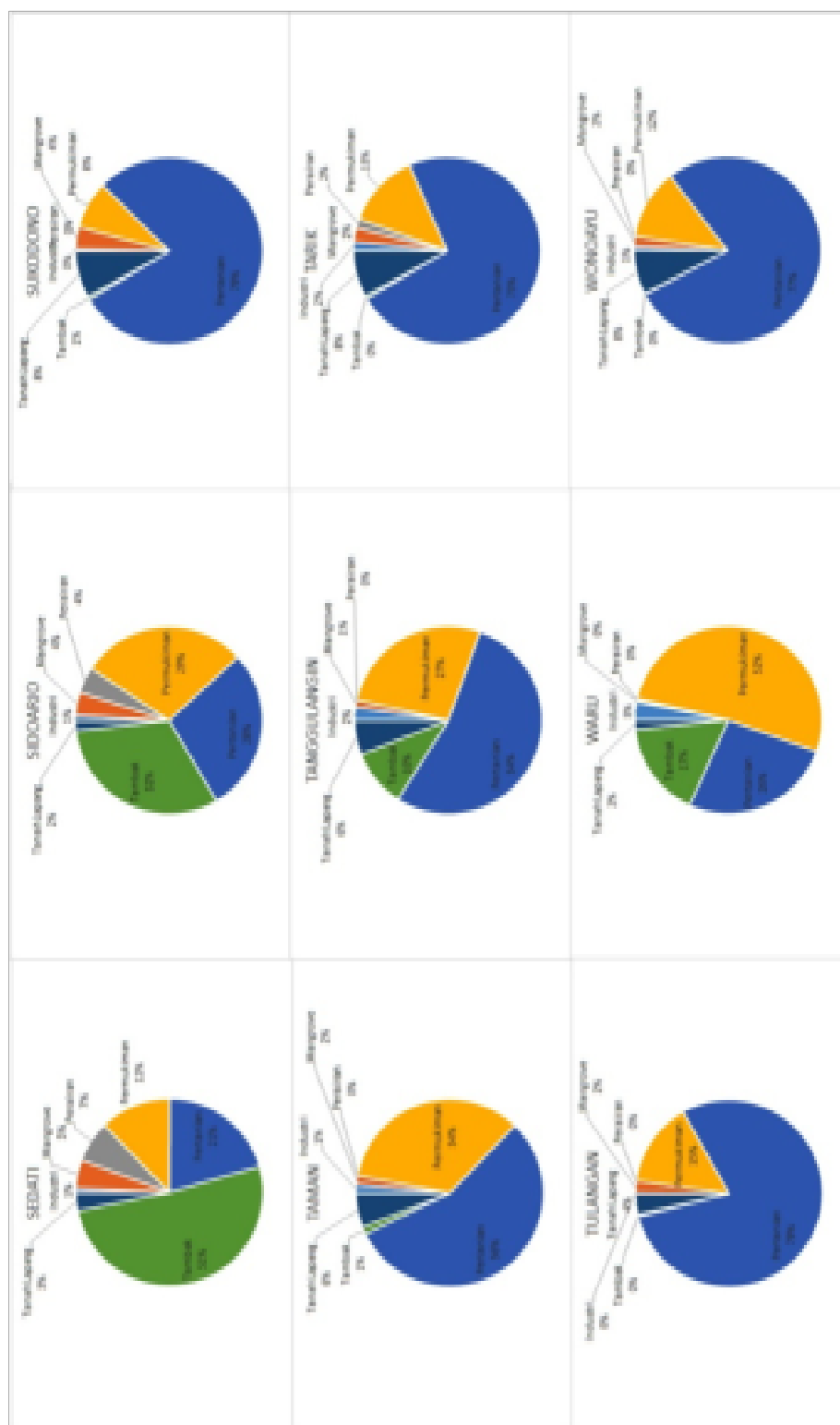
Gambar 4.16. Sebaran tanah lapang di Kabupaten Sidoarjo tahun 2005

Tabel 4.3. Luas Tutupan Lahan Masing-masing Kecamatan di Kabupaten Sidoarjo Tahun 2005

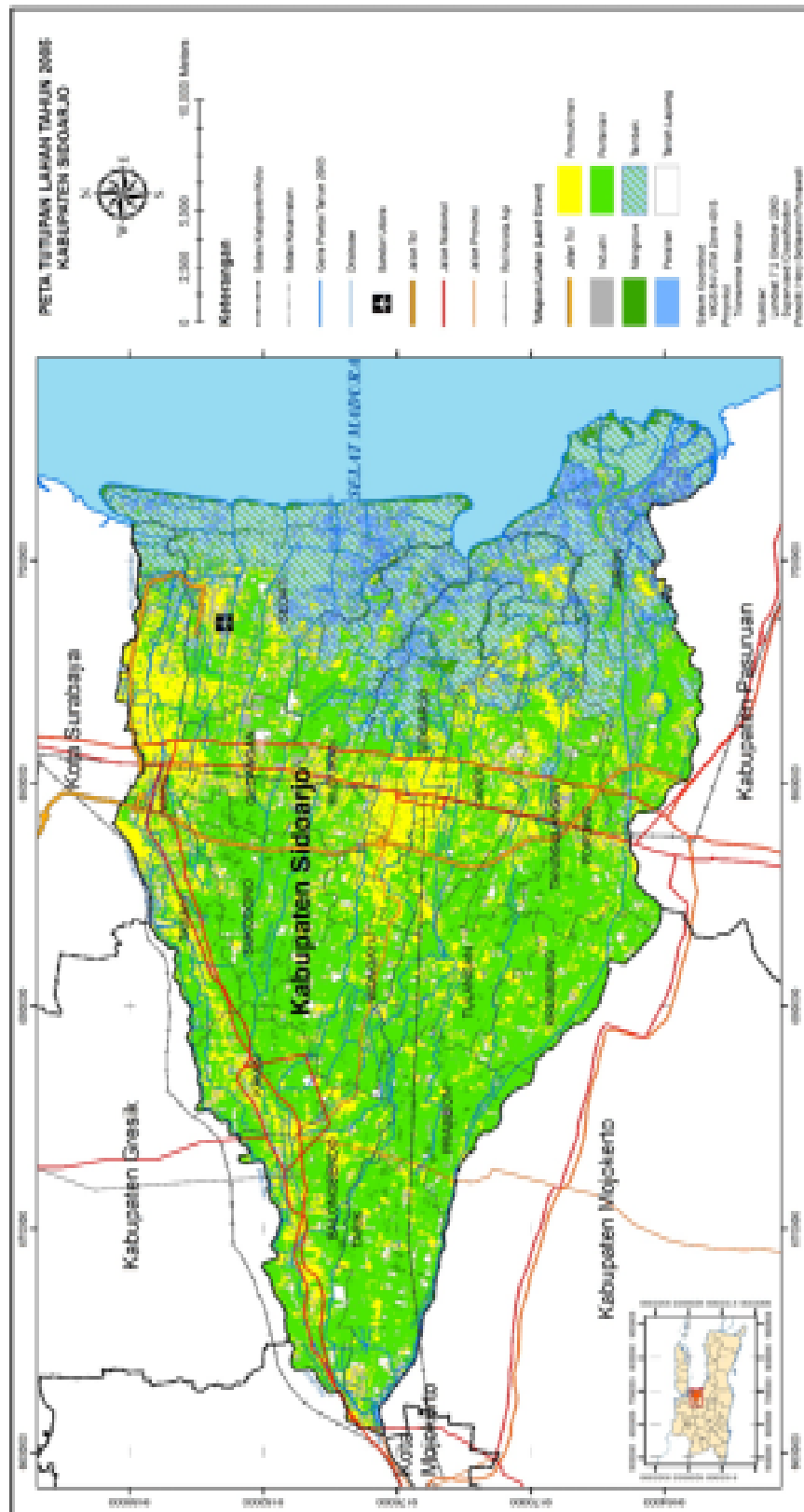
No	Kecamatan	Tutupan Lahan (m ²)					
		Industri	Mangrove	Peraliran	Perumahan	Pertanian	Tambak
							Tanah Lapang
1	Balombang	359.662	291.431	103.275	11.551.083	29.104.554	307.507
2	Baduran	810.473	1.179.023	2.101.225	7.121.189	16.983.499	13.511.421
3	Candi	274.066	642.473	126.837	13.472.363	18.717.723	7.563.688
4	Gedangan	1.449.580	392.237	0	5.962.287	13.804.972	226.995
5	Jaben	823.403	3.791.786	8.483.216	6.779.436	25.284.520	37.241.936
6	Krembung	48.573	150.323	18.300	3.339.324	22.509.345	120.804
7	Krian	519.629	291.139	0	5.931.433	17.568.654	173.277
8	Porong	394.375	375.772	561.638	4.982.545	19.697.884	3.248.835
9	Prambon	236.467	1.214.408	248.944	2.430.334	24.503.516	124.735
10	Sedati	553.533	4.082.214	5.859.899	10.172.790	16.937.325	42.297.682
11	Sidoarjo	559.393	2.462.292	2.811.488	17.888.434	17.573.555	19.688.076
12	Sukodono	101.695	1.275.458	0	2.701.170	25.910.748	179.550
13	Taman	462.986	471.023	0	10.751.106	17.416.008	395.900
14	Tanggulangin	656.048	356.169	19.350	8.060.467	15.947.406	2.988.530
15	Tarik	601.328	979.594	611.083	5.134.297	28.985.715	200.536
16	Tulangan	32.920	650.528	0	4.599.394	24.785.503	114.300
17	Waru	957.331	114.326	58.725	15.852.683	8.060.263	5.101.128
18	Wonoayu	201.095	547.457	0	3.665.133	23.488.600	60.750
	Total	9.042.559	19.267.653	21.003.982	140.395.468	367.279.790	133.545.649
							33.515.773



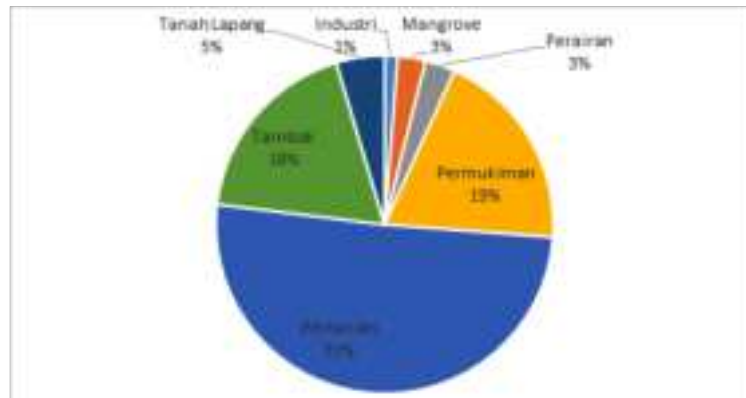
Gambar 4.17a. Diagram persentase perbandingan jenis tutupan lahan masing-masing kecamatan di Kabupaten Sidoarjo tahun 2005



Gambar 4.17b. Diagram persentase perbandingan jenis tutupan lahan masing-masing kecamatan di Kabupaten Sidoarjo tahun 2005



Gambar 4.18 . Tutupan lahan di Kabupaten Sidoarjo tahun 2005



Gambar 4.19. Diagram persentase tutupan lahan di Kabupaten Sidoarjo tahun 2005

Pada Gambar 4.18 menunjukkan tutupan lahan Kabupaten Sidoarjo pada tahun 2005, sedangkan pada Gambar 4.19, terlihat prosentase tutupan lahan Kabupaten Sidoarjo pada tahun 2005. Sebagian besar tutupan lahan di Kabupaten Sidoarjo merupakan lahan pertanian, yaitu sebesar 51%, permukiman sebesar 19%, dan tambak sebesar 18%. Sisanya adalah tutupan lahan yang berupa tanah lapang (5%), mangrove dan perairan yang masing-masing sebesar 3%, serta industri (1%).

4.1.3.2. Tutupan Lahan Tahun 2017

Berdasarkan interpretasi citra satelit Landsat 8 tahun 2017, bisa diperoleh gambaran tutupan lahan di Kabupaten Sidoarjo saat ini. Adapun untuk bisa menganalisisnya lebih detail, kemudian dilakukan juga analisa tutupan lahan berdasarkan sebarannya.

Gambar 4.20 - 4.26 menunjukkan sebaran tutupan pada masing-masing kecamatan di Kabupaten Sidoarjo pada tahun 2017. Berdasarkan gambar-gambar tersebut, bisa diketahui karakteristik masing-masing wilayah kecamatan, yaitu di antaranya:

1. Kecamatan Balongbendo wilayahnya didominasi oleh lahan pertanian, yaitu sebesar 80%, sedangkan permukiman sebesar 14%;
2. Kecamatan Buduran 36% wilayahnya merupakan tambak, sedangkan lahan pertanian sebesar 28% dan permukiman sebesar 25%;
3. Kecamatan Candi mempunyai dominasi wilayah berupa lahan pertanian sebesar 39%, sedangkan permukiman sebesar 31% dan tambak sebesar 24%;

4. Kecamatan Gedangan wilayahnya didominasi oleh permukiman, yaitu sebesar 49%, sedangkan lahan pertanian sebesar 34%. Di wilayah ini juga terdapat industri, yaitu sebesar 11% dari wilayahnya;
5. Kecamatan Jabon wilayahnya didominasi sebagian besar oleh tambak, yaitu sebesar 48%, sedangkan pertanian sebesar 18% dan permukiman sebesar 17%;
6. Kecamatan Krembung sebagian besar wilayahnya didominasi oleh lahan pertanian, yaitu sebesar 87%, sedangkan permukiman sebesar 5%;
7. Kecamatan Krian wilayahnya didominasi oleh lahan pertanian, yaitu sebesar 55%, sedangkan permukiman sebesar 37%;
8. Kecamatan Porong wilayahnya didominasi oleh lahan pertanian, sebesar 52%, sedangkan permukiman sebesar 18%, tambak 13%, dan tanah lapang sebesar 10%;
9. Kecamatan Prambon wilayahnya sebagian besar didominasi oleh lahan pertanian, yaitu sebesar 89%, sedangkan permukiman sebesar 5%;
10. Kecamatan Sedati sebagian besar wilayahnya didominasi oleh tambak, yaitu sebesar 62%, sedangkan pertanian sebesar 19%, dan permukiman sebesar 9%;
11. Kecamatan Sidoarjo meski berada di pusat kota, tetapi masih mempunyai tambak sebesar 33% di bagian timur, sedangkan permukiman sebesar 30%, dan lahan pertanian sebesar 27%;
12. Kecamatan Sukodono wilayahnya sebagian besar didominasi oleh lahan pertanian, yaitu sebesar 74%, sedangkan permukiman sebesar 24%;
13. Kecamatan Taman wilayahnya sebagian besar didominasi oleh permukiman, yaitu sebesar 74%, sedangkan lahan pertanian sebesar 13%;
14. Kecamatan Tanggulangin wilayahnya didominasi sebagian besar berupa lahan pertanian, yaitu sebesar 49%, sedangkan permukiman sebesar 26%, dan tambak sebesar 13%;
15. Kecamatan Tarik sebagian besar wilayahnya didominasi oleh lahan pertanian, yaitu sebesar 81%, sedangkan permukiman sebesar 6%;
16. Kecamatan Tulangan wilayahnya sebagian besar didominasi oleh lahan pertanian, yaitu sebesar 84%, sedangkan permukiman sebesar 13%;

17. Kecamatan Waru sebagian besar wilayahnya didominasi oleh permukiman, yaitu sebesar 53%, sedangkan tambak yang berada di bagian timur sebesar 23%, dan lahan pertanian sebesar 12%;
18. Kecamatan Wonoayu wilayahnya sebagian besar didominasi oleh lahan pertanian, yaitu sebesar 83%, sedangkan permukiman sebesar 12%.

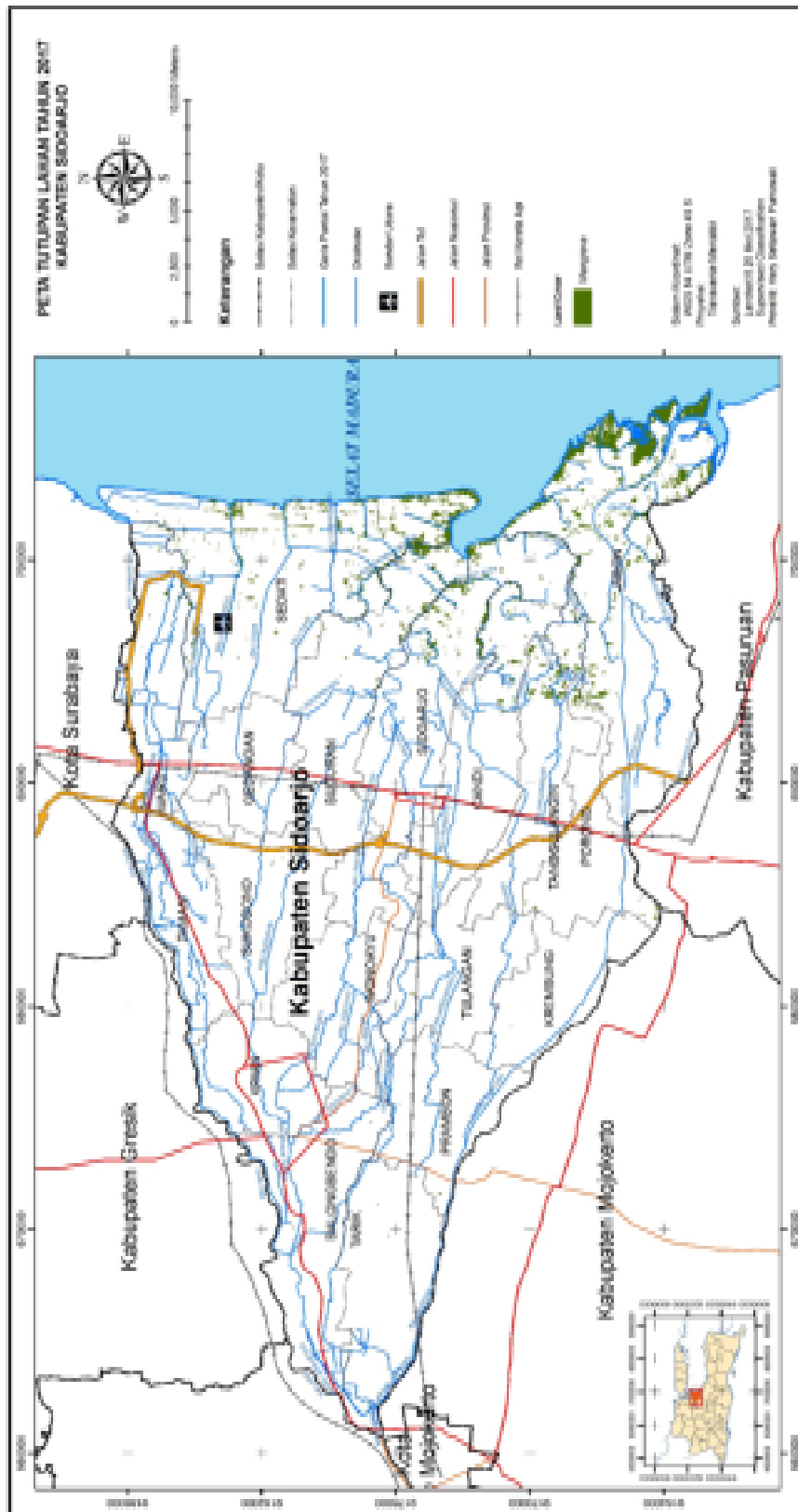
Selengkapnya, detail persentase tutupan lahan masing-masing kecamatan di Kabupaten Sidoarjo bisa dilihat pada Gambar 4.27a dan Gambar 4.27b.

Tabel 4.4 memperlihatkan luas masing-masing tutupan lahan di Kabupaten Sidoarjo pada tahun 2017, sedangkan untuk peta sebaran tutupan lahan yang berupa industri, mangrove, perairan, permukiman, pertanian, tambak, dan tanah lapang, bisa dilihat pada Gambar 4.20-4.26. Berdasarkan sebaran jenis tutupan lahan, industri terbanyak berada di Kecamatan Gedangan, mangrove terbanyak berada di Kecamatan Jabon, Perairan terbanyak berada di Kecamatan Jabon, Permukiman terbanyak berada di Kecamatan Taman, pertanian terbanyak berada di Kecamatan Balongbendo, tambak terbanyak berada di Kecamatan Sedati, dan tanah lapang terbanyak berada di Kecamatan Porong.

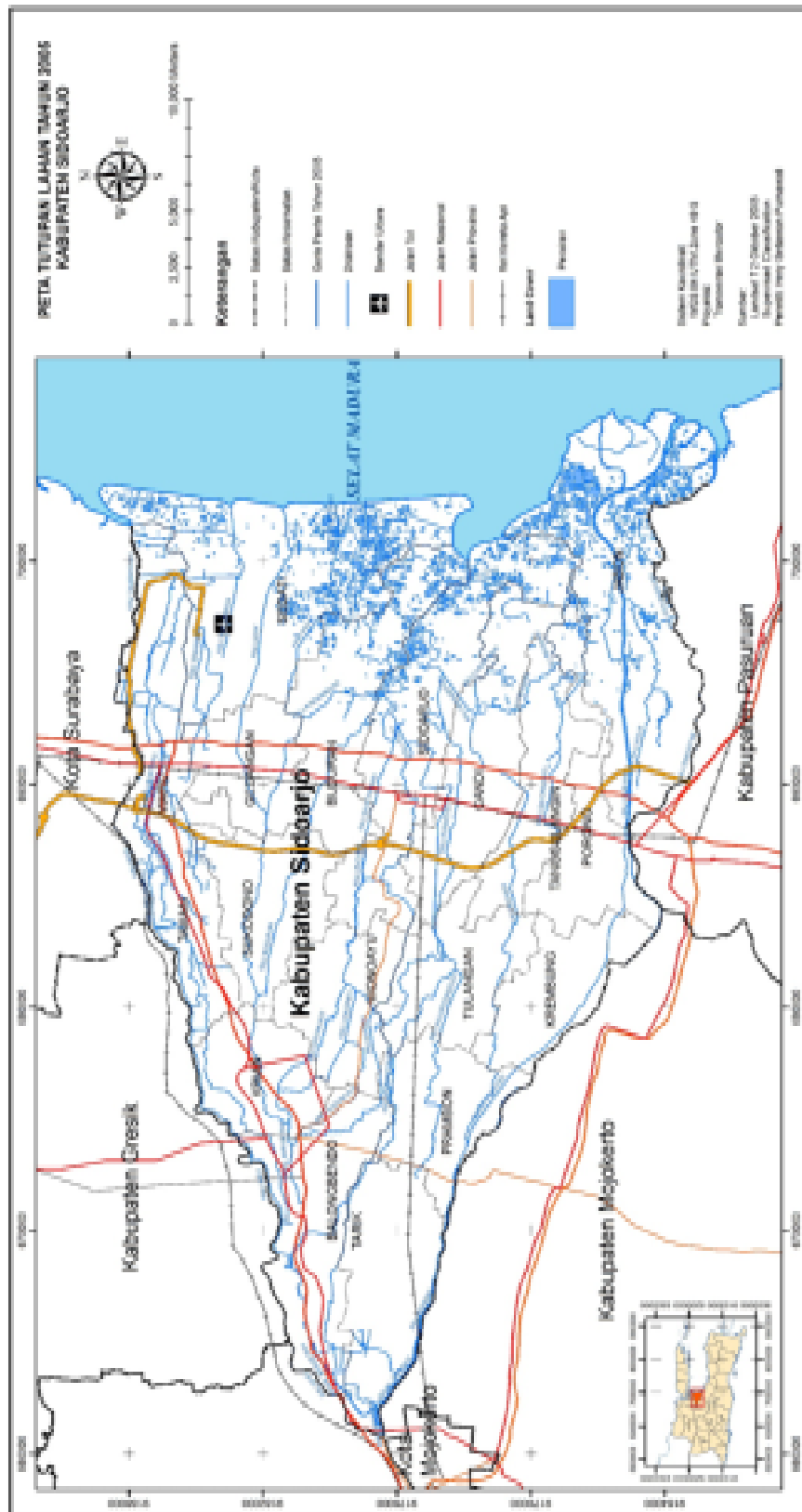
Pada Gambar 4.28 menunjukkan tutupan lahan Kabupaten Sidoarjo pada tahun 2017, sedangkan pada Gambar 4.29 terlihat prosentase tutupan lahan Kabupaten Sidoarjo pada tahun 2017. Sebagian besar tutupan lahan di Kabupaten Sidoarjo merupakan lahan pertanian, yaitu sebesar 46%, permukiman sebesar 23%, dan tambak sebesar 21%. Sisanya adalah tutupan lahan yang berupa industri, mangrove, dan perairan yang masing-masing sebesar 3%.



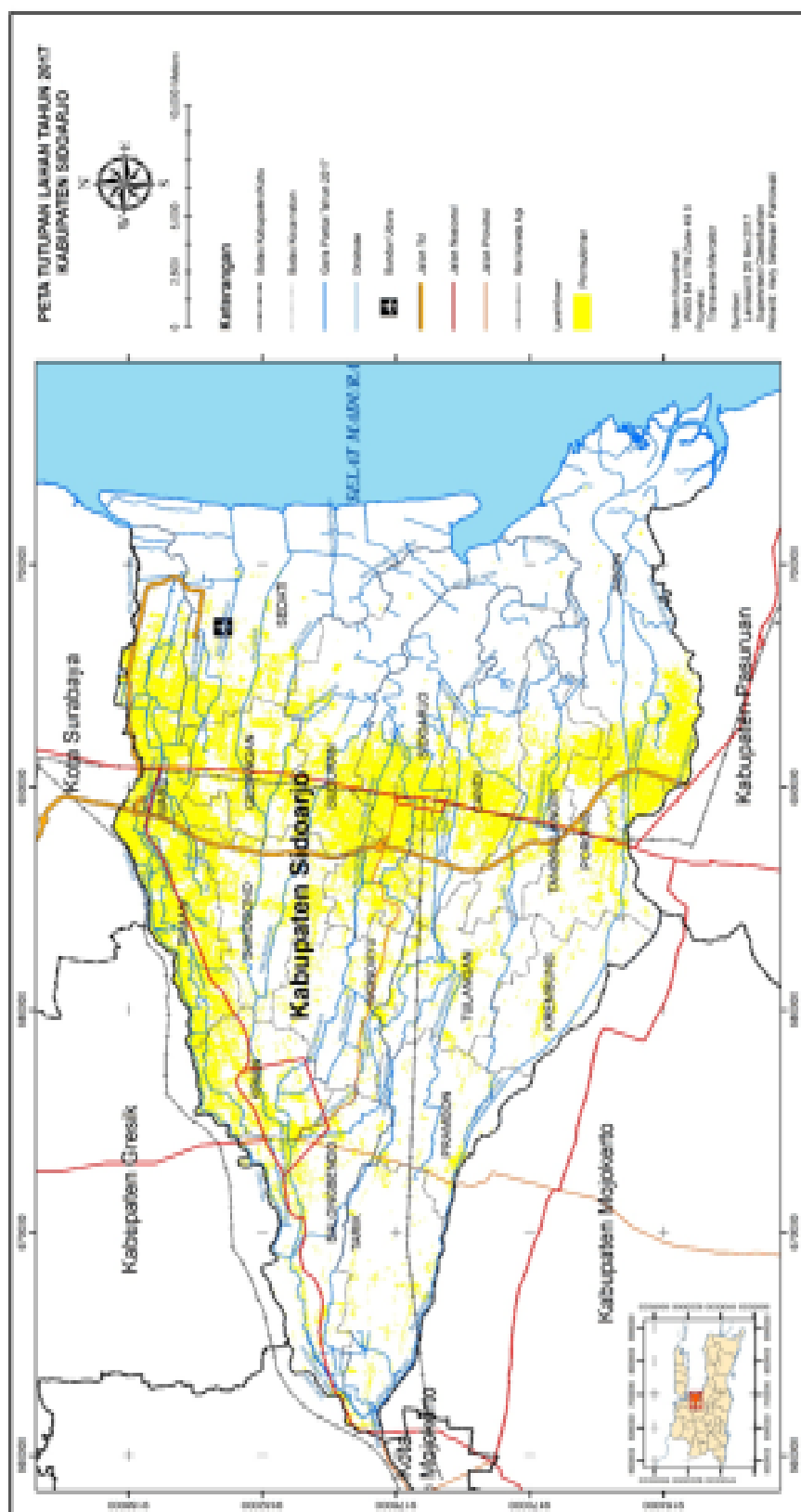
Gambar 4.20. Sebaran industri di Kabupaten Sidoarjo tahun 2017



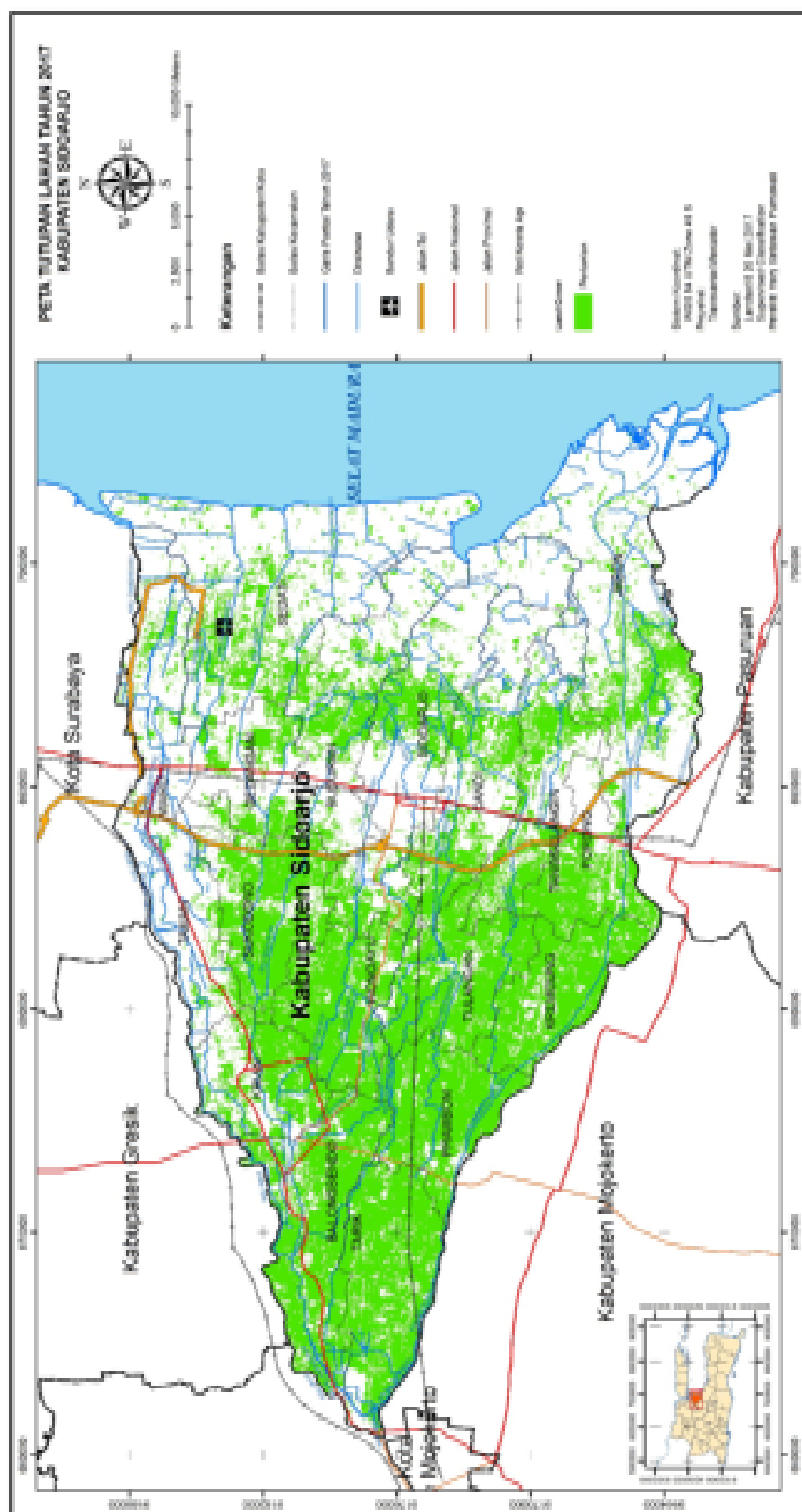
Gambar 4.21. Sebaran mangrove di Kabupaten Sidoarjo tahun 2017



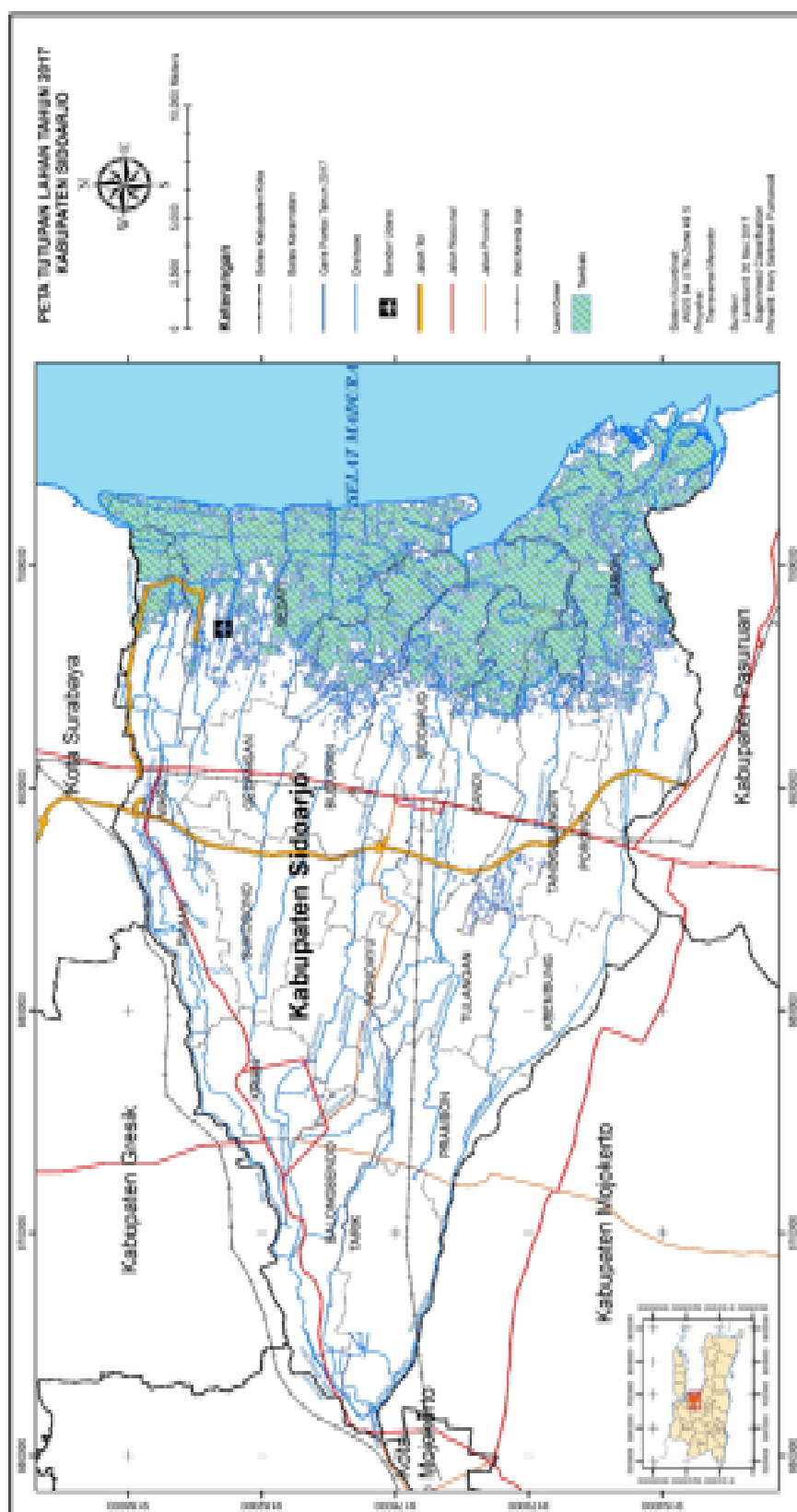
Gambar 4.22. Sebaran perairan di Kabupaten Sidoarjo tahun 2017



Gambar 4.23. Sebaran permukiman di Kabupaten Sidoarjo tahun 2017



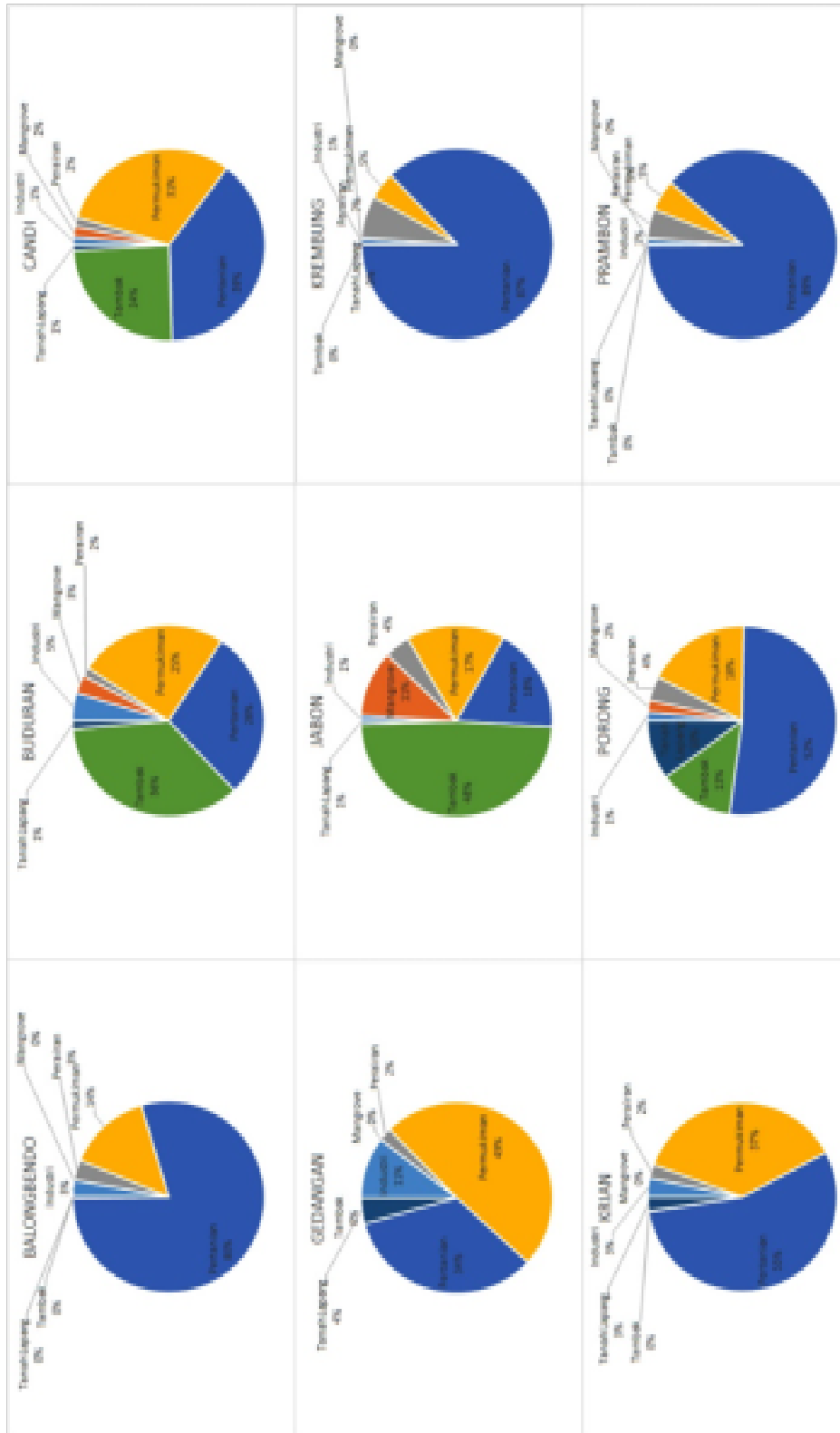
Gambar 4.24. Sebaran pertanian di Kabupaten Sidoarjo tahun 2017



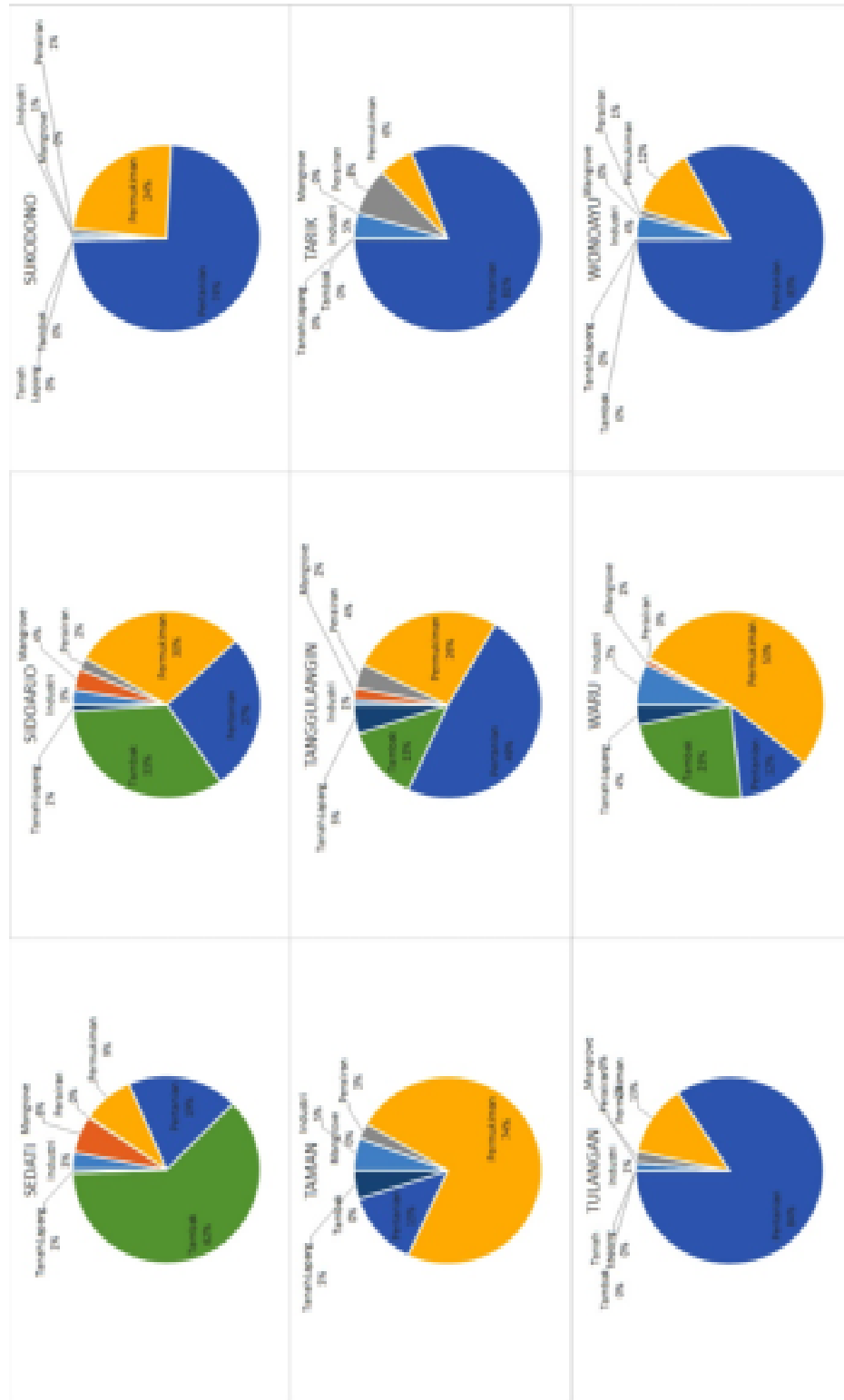
Gambar 4.25. Sebaran tambak di Kabupaten Sidoarjo tahun 2017

Tabel 4.4. Luasan Tutupan Lahan Masing-masing Kecamatan di Kabupaten Sidoarjo Tahun 2017

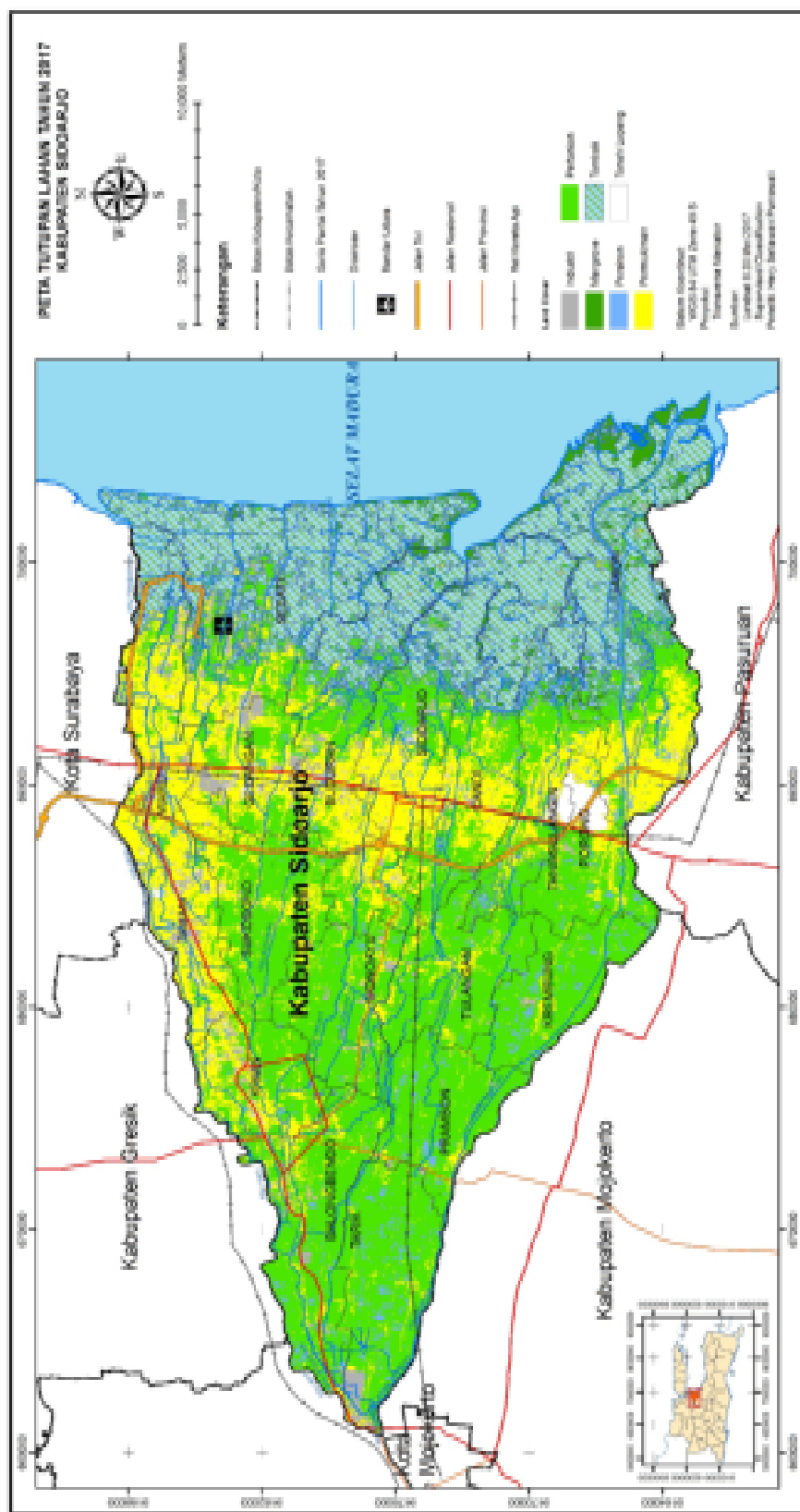
No	Kecamatan	Tutupan Lahan (m2)						
		Industri	Mangrove	Perairan	Perumahan	Pertanian	Tambak	Tanah Layang
1	BALONGBENDO	1.263.242	20.250	1.517.772	6.221.075	35.250.660	22.983	47.025
2	BUDURAN	2.070.110	1.340.595	667.565	10.936.800	12.450.360	15.595.054	602.094
3	CANDI	561.464	767.329	675.782	13.119.132	16.832.259	10.501.872	480.191
4	GEDANGAN	2.507.079	0	522.725	11.799.932	8.156.248	0	1.052.216
5	JABON	829.395	9.531.667	3.660.609	14.182.817	15.062.052	41.182.576	433.621
6	KREMBUNG	279.175	3.864	2.000.677	1.280.362	24.306.833	51.275	
7	KELAN	858.364	0	616.259	9.456.510	14.530.128	55.595	607.673
8	PORONG	445.750	630.152	1.276.819	5.431.737	15.908.399	3.922.863	3.907.289
9	PRAMBON	295.503	19.920	1.498.061	1.601.752	26.457.807	0	23.400
10	SEDATI	2.472.057	5.403.404	119.424	7.358.207	15.924.764	51.579.253	433.012
11	SIDOARJO	1.595.377	2.219.149	1.507.102	18.604.059	16.948.778	20.818.977	727.874
12	SUKODONO	261.176	17.525	275.174	7.919.852	24.281.239	0	907.257
13	TAMAN	1.748.288	0	845.369	23.126.157	4.098.739	0	1.548.511
14	TANGGULANGAN	267.799	611.159	1.255.237	7.873.122	14.455.788	3.896.727	1.473.663
15	TARIK	1.757.863	8.775	3.308.062	2.426.553	32.329.658	0	4.050
16	TULANGAN	420.760	13.950	596.138	3.896.294	26.385.631	0	7.630
17	WARU	2.157.399	248.492	127.507	16.075.434	3.812.841	7.150.891	1.063.625
18	WONOREJO	1.187.086	8.525	536.718	3.577.661	25.129.642	0	33.525
	Total	20.958.087	20.864.553	20.906.801	164.881.454	552.101.676	154.735.845	11.672.678



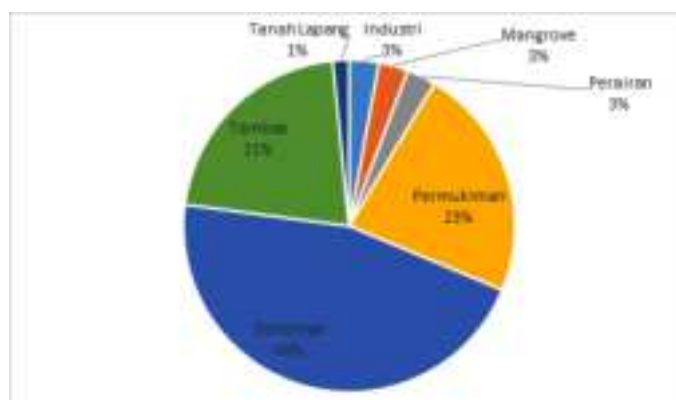
Gambar 4.27a. Diagram prosentase perbandingan jenis tutupan lahan masing-masing kecamatan di Kabupaten Sidoarjo tahun 2017



Gambar 4.27b. Diagram prosentase perbandingan jenis tutupan lahan masing-masing kecamatan di Kabupaten Sidoarjo tahun 2017



Gambar 4.28. Tutupan lahan di Kabupaten Sidoarjo tahun 2017



Gambar 4.29. Diagram prosentase tutupan lahan di Kabupaten Sidoarjo tahun 2017

4.1.3.3. Perubahan Tutupan Lahan

Perubahan tutupan lahan di Kabupaten Sidoarjo antara periode tahun 2005-2017 bisa dilihat pada Gambar 4.32 sehingga bisa diketahui sebaran perubahan tutupan lahannya secara spasial. Sedangkan pada Gambar 4.31a-4.31b bisa terlihat prosentase perubahan tutupan lahan pada masing-masing kecamatan.

Tabel 4.5. Luasan Perubahan Tutupan Lahan per Kecamatan di Kabupaten Sidoarjo Tahun 2005-2017

No	Kategori	Kecamatan	Luas (m ²)
1	<i>Big Decrease</i>	Balombang	9.806.114,11
2	<i>Big Decrease</i>	Buduran	10.765.057,05
3	<i>Big Decrease</i>	Candi	12.658.635,81
4	<i>Big Decrease</i>	Gedangan	6.638.620,37
5	<i>Big Decrease</i>	Jabon	12.261.590,16
6	<i>Big Decrease</i>	Krembung	5.591.463,62
7	<i>Big Decrease</i>	Krian	4.822.605,90
8	<i>Big Decrease</i>	Porong	6.577.667,69
9	<i>Big Decrease</i>	Prambon	2.413.970,05
10	<i>Big Decrease</i>	Sedati	12.316.864,34
11	<i>Big Decrease</i>	Sidoarjo	14.413.575,08
12	<i>Big Decrease</i>	Sukodono	4.878.349,80
13	<i>Big Decrease</i>	Taman	4.926.601,69
14	<i>Big Decrease</i>	Tanggulangin	9.780.891,25
15	<i>Big Decrease</i>	Tarik	10.872.486,27
16	<i>Big Decrease</i>	Tulangan	3.944.757,09
17	<i>Big Decrease</i>	Waru	10.140.624,16
18	<i>Big Decrease</i>	Wonoayu	4.694.562,62
19	<i>Big Increase</i>	Wonoayu	23.400,00
Jumlah Total			147.527.837,07

Tabel 4.6. Prosentase perubahan tutupan lahan Kabupaten Sidoarjo tahun 2005-2017

No	Kategori	Luas (m ²)	Prosentase (%)
1	<i>Big Decrease</i>	147.504.437,07	99,984
2	<i>Big Increase</i>	23.400,00	0,016
Jumlah Perubahan		147.527.837,07	100,000

Berdasarkan Tabel 4.5, semua kecamatan di Kabupaten Sidoarjo mengalami perubahan pada tutupan lahan, 17 kecamatan mengalami perubahan tutupan lahan berupa penurunan luasan tutupan lahan dari yang sebelumnya, dan hanya Kecamatan Wonoayu yang mengalami perubahan dalam kedua bentuk, yaitu penurunan dan sedikit kenaikan (*minor change*) pada tutupan lahannya. Sehingga dominasi perubahan tutupan lahan adalah adanya pengurangan dari luasan tutupan lahan sebelumnya, yaitu sebesar 99,984% dan hanya 0,016% yang berupakan kenaikan luasan dari tutupan lahan sebelumnya. Adapun data prosentase perubahan lahan per kecamatan di Kabupaten Sidoarjo tahun 2005-2017 sebagaimana pada Tabel 4.7. Sedangkan rincian detil perubahan tutupan lahan per tahunnya (m²/tahun) pada tiap kecamatan mulai tahun 2005 sampai 2017, sebagaimana pada Tabel 4.8.

Tabel 4.7. Prosentase Perubahan Lahan per Kecamatan di Kabupaten Sidoarjo Tahun 2005-2017

No	Kecamatan	Tetap (m ²)	Berubah (m ²)	Jumlah (m ²)	Perubahan (%)
1	Balongsendo	34.536.892	9.806.114	44.343.006	22,11
2	Buduran	32.895.499	10.765.057	43.660.556	24,66
3	Candi	30.209.393	12.658.636	42.868.029	29,53
4	Gedangan	17.373.581	6.638.620	24.012.201	27,65
5	Jabon	72.640.948	12.261.590	84.902.539	14,44
6	Krembung	22.310.742	5.591.464	27.902.206	20,04
7	Krian	21.071.923	4.822.606	25.894.529	18,62
8	Porong	24.145.051	6.577.668	30.722.719	21,41
9	Prambon	27.482.472	2.413.970	29.896.442	8,07
10	Sedati	70.973.446	12.316.864	83.290.310	14,79
11	Sidoarjo	47.807.741	14.413.575	62.221.316	23,17
12	Sukodono	27.983.673	4.878.350	32.862.023	14,84
13	Taman	26.440.462	4.926.602	31.367.064	15,71
14	Tanggulangin	20.012.527	9.780.891	29.793.418	32,83
15	Tarik	28.862.556	10.872.486	39.735.042	27,36
16	Tulangan	27.375.666	3.944.757	31.320.423	12,59
17	Waru	20.495.766	10.140.624	30.636.390	33,1
18	Wonoayu	25.574.994	4.717.963	30.292.957	15,57
Jumlah		578.193.332	147.527.837	725.721.169	20,33

Tabel 4.8. Perubahan Tutupan Lahan per Tahun (m^2/tahun) pada Tiap Kecamatan

No	Kecamatan	Perubahan Tutupan Lahan (m^2) per tahun					
		Industri	Mangrove	Perairan	Pemukiman	Pertanian	Tanah Lapang
1	Balungbendo	75.298	-22.598	117.875	-444.167	512.176	-23.710
2	Buhuran	104.970	13.464	-119.472	317.968	-377.762	173.468
3	Candi	23.950	10.405	45.745	-29.436	-157.122	244.849
4	Gedangan	88.125	-32.686	43.560	485.970	-470.727	-18.916
5	Jabon	499	479.990	-401.884	616.948	-851.872	328.370
6	Kremlbung	19.217	-12.205	165.198	-171.580	149.792	-7.461
7	Krian	26.561	-24.262	51.355	293.756	-269.877	-11.474
8	Perong	4.281	21.198	59.582	37.433	-315.798	56.169
9	Prambon	4.920	-99.541	104.093	-69.049	162.858	-10.395
10	Sedati	159.877	110.099	-478.373	-234.549	-84.380	773.464
11	Sidoarjo	86.332	-20.262	-125.366	59.635	-52.065	94.242
12	Subodono	13.280	-104.844	22.931	434.890	-135.792	-14.963
13	Taman	107.109	-39.252	70.447	1.031.254	-1.109.772	-32.992
14	Tanggubangin	-52.354	21.249	161.324	-15.612	-125.975	75.683
15	Tarik	96.378	-80.902	216.415	-225.645	278.662	-16.711
16	Tulangan	32.320	-53.048	49.678	-58.592	133.344	-9.525
17	Waru	100.022	11.181	5.732	18.563	-353.952	170.814
18	Wonorejo	82.166	-44.928	29.727	-7.289	136.754	-5.063
Total		992.961	133.058	-41.432	2.040.499	-2.931.510	1.765.850
							-1.820.258

Berdasarkan Tabel 4.8, luasan daerah industri di Kecamatan Buduran, Sedati, Taman dan Waru mengalami pertambahan yang paling besar diantara kecamatan-kecamatan yang lain, yaitu sebesar $>100 \text{ m}^2/\text{tahun}$. Namun secara rata-rata hampir semua kecamatan di Kabupaten Sidoarjo mengalami perubahan lahan berupa bertambahnya luasan daerah industri kecuali Kecamatan Tanggulangin. Kecamatan Tanggulangin berkurang luasan daerah industri sebesar $-32.354 \text{ m}^2/\text{tahun}$. Untuk luasan mangrove, Kecamatan Jabon sebagai kecamatan pesisir yang langsung berhadapan dengan perairan Selat Madura mengalami pertambahan paling besar luasan hutan mangrovenya sebesar rata-rata per tahun $479.990 \text{ (m}^2/\text{tahun)}$.

Perubahan permukiman terlihat cenderung mengalami pertambahan luasan. Yang paling mencolok perubahannya adalah pada Kecamatan Taman, yaitu luasan daerah permukiman bertambah $1.031.254 \text{ m}^2/\text{tahun}$. Pertambahan luasan ini dimungkinkan adanya perubahan guna lahan dari daerah pertanian menjadi permukiman. Hal ini terlihat dari Tabel 4.8 bahwa luasan lahan pertanian berkurang sebesar $1.109.772 \text{ m}^2/\text{tahun}$ dan bertambahnya luasan daerah permukiman sebesar $1.031.254 \text{ m}^2/\text{tahun}$. Sedangkan untuk tanah lapang rata-rata mengalami perubahan berupa berkurangnya tanah lapang hampir di semua kecamatan, kecuali pada Kecamatan Porong. Pada kecamatan ini mengalami petambahan luasan tanah lapang sebesar $137.135 \text{ m}^2/\text{tahun}$, dimungkinkan terjadinya perubahan fungsi lahan dari lahan pertanian menjadi tanah lapang.

Apabila ditarik kesimpulan, pada umumnya pada semua kecamatan di Kabupaten Sidoarjo mengalami perubahan fungsi lahan berupa bertambahnya luasan daerah industri, daerah permukiman, bertambahnya tambak, berkurangnya area dengan vegetasi, berkurangnya luasan area pertanian, serta berkurangnya tanah lapang. Apabila pertambahan luasan industri dan pemukiman ini mengalami tren yang sama pada tiap tahun kedepannya, maka berdampak pada semakin rentannya daerah di Sidoarjo terhadap bencana banjir. Karena semakin bertambahnya inddustri dan perukiman, diikuti berkurangnya luasan area bervegetasi, maka daerah resapan terhadap air hujan akan berkurang dan dapat berakibat terhadap kerentanan bencana banjir.

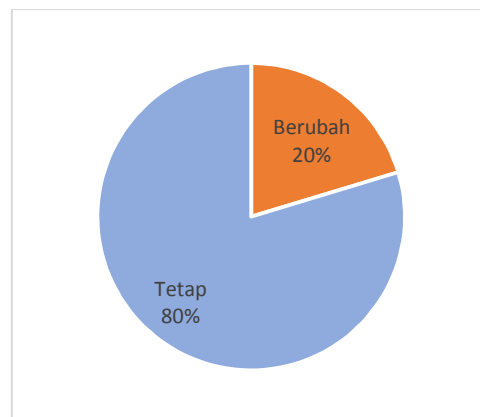
Persentase perubahan tutupan lahan per kecamatan di Kabupaten Sidoarjo periode tahun 2005-2017 disajikan dalam Gambar 4.31a dan Gambar 4.31b. Sedangkan secara spasial, perubahan tutupan lahan di Kabupaten Sidoarjo beserta sebarannya, bisa terlihat pada Gambar 4.32. Pada gambar tersebut, terlihat semua kecamatan mengalami perubahan tutupan lahan.

Berdasarkan Gambar 4.31a dan Gambar 4.31b, prosentase perubahan tutupan lahan terbesar ada di Kecamatan Waru, yaitu sebesar 33,10%, sedangkan perubahan tutupan lahan paling rendah ada di Kecamatan Prambon, yaitu sebesar 8,07%.

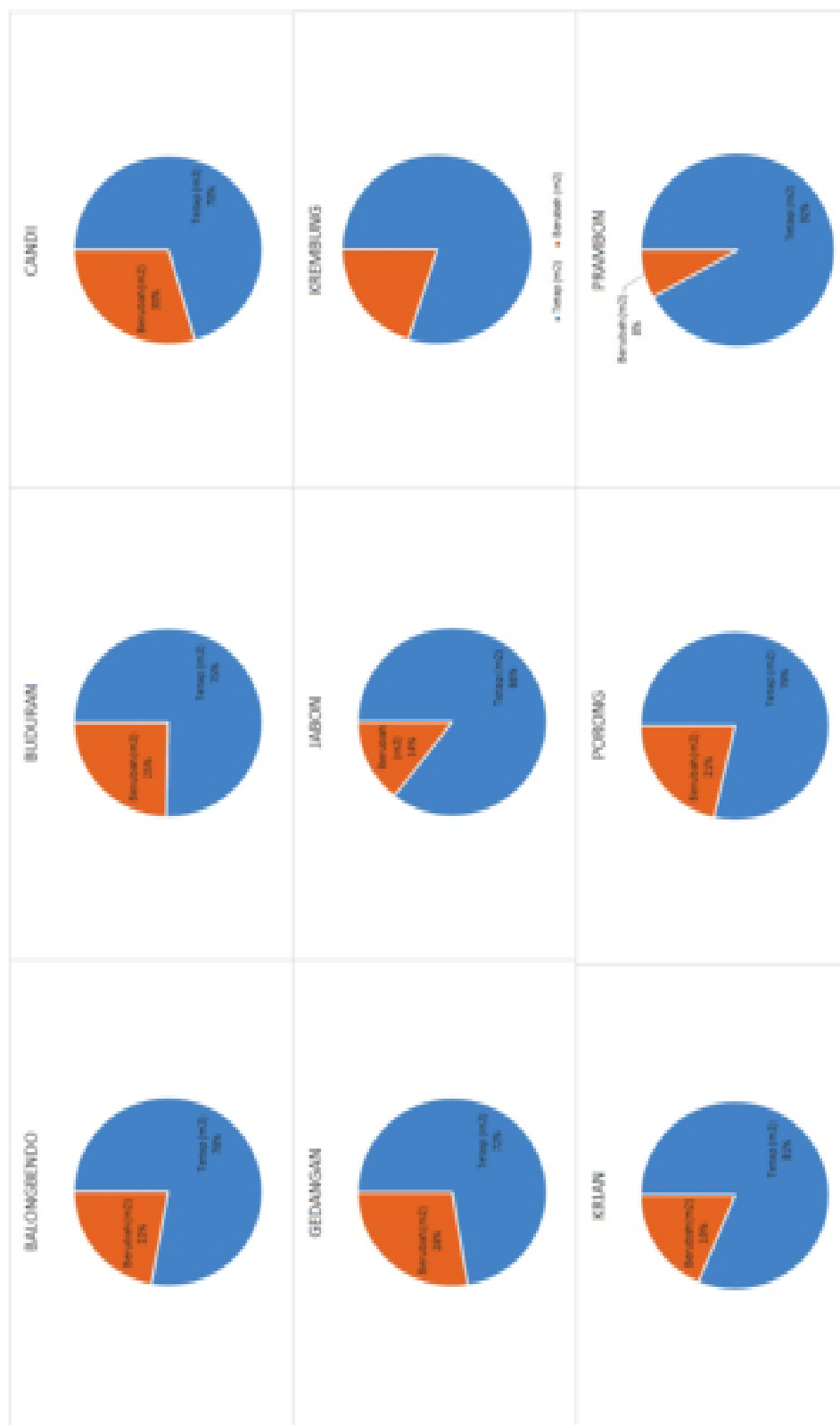
Rata-rata prosentase perubahan tutupan lahan di Kabupaten Sidoarjo adalah 20,33%. Berdasarkan prosentase perubahan tutupan lahan di masing-masing kecamatan, 16 kecamatan mempunyai prosentase perubahan tutupan lahan di atas rata-rata, dan hanya 2 kecamatan saja yang berada di bawah rata-rata, yaitu Kecamatan Gedangan dan Kecamatan Jabon.

Tabel 4.9. Perbandingan Perubahan Tutupan Lahan Kabupaten Sidoarjo Tahun 2005-2017

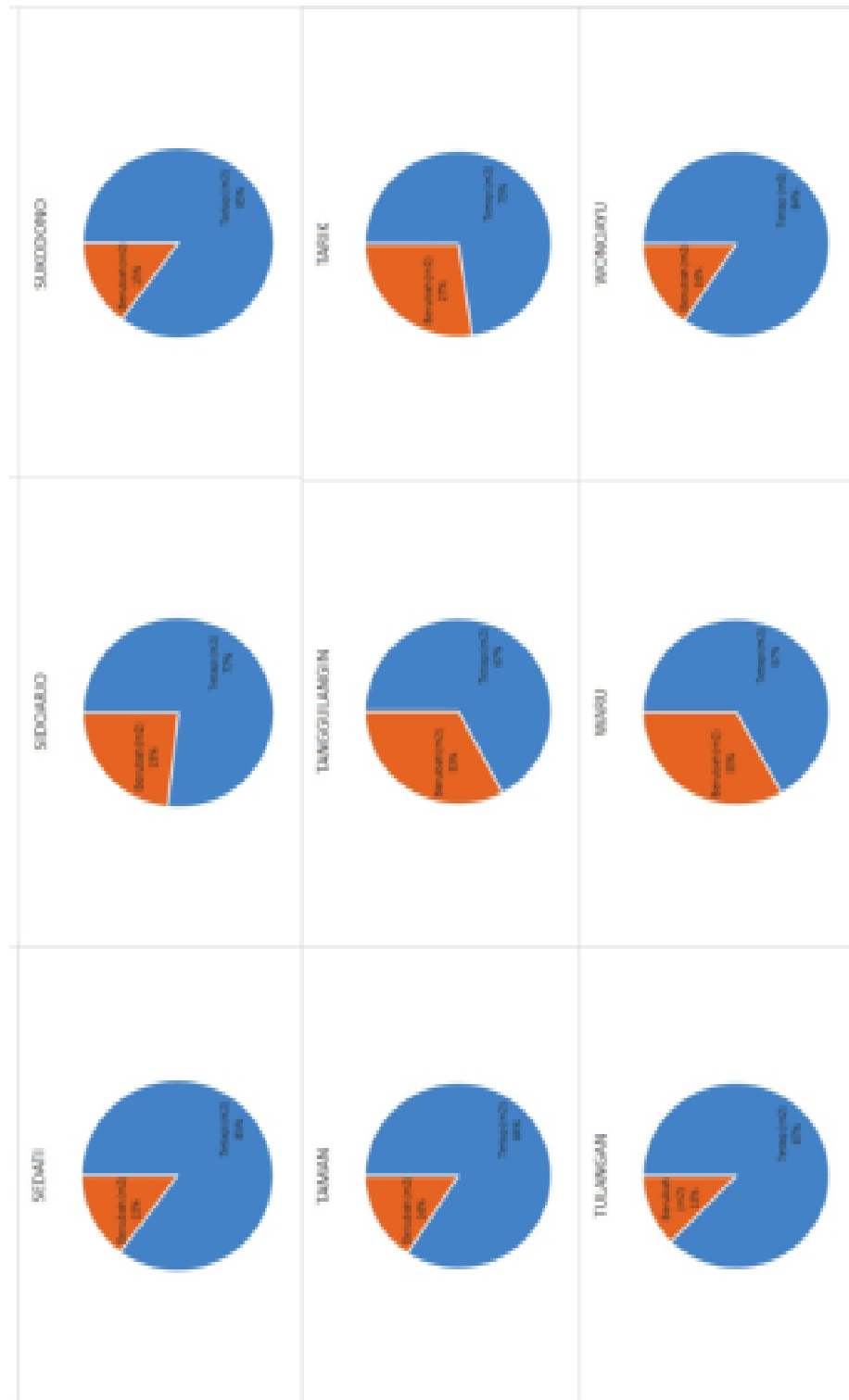
No	Kategori	Luas (m ²)	Prosentase (%)
1	Berubah	147.527.837,07	20,328
2	Tetap	578.193.332,05	79,672
	Jumlah	725.721.169,13	100,000



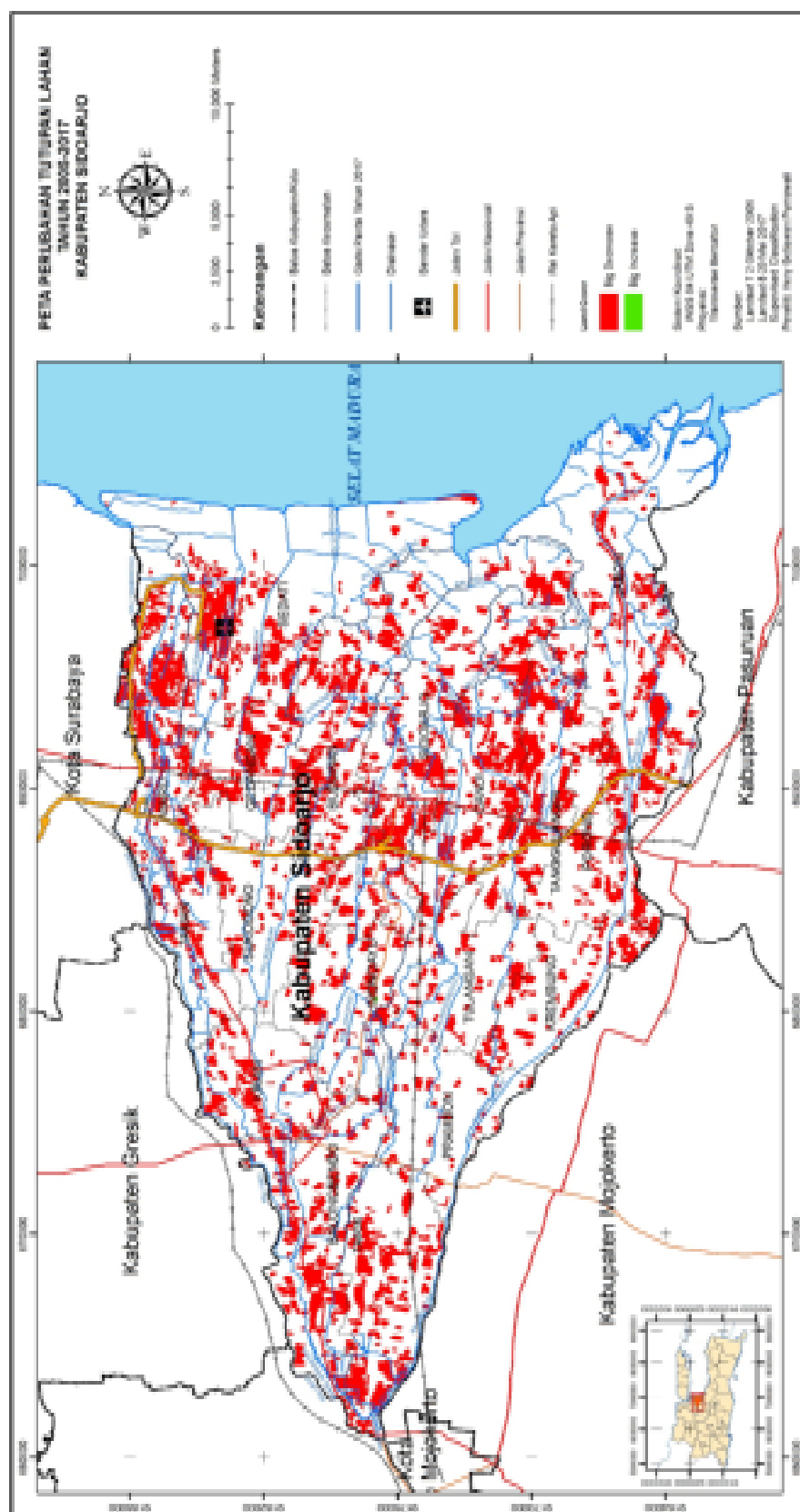
Gambar 4.30. Prosentase perubahan tutupan lahan Kabupaten Sidoarjo tahun 2005-2017



Gambar 4.31a. Prosentase perubahan tutupan lahan per kecamatan di Kabupaten Sidoarjo periode tahun 2005-2017



Gambar 4.31b. Prosentase perubahan tutupan lahan per kecamatan di Kabupaten Sidoarjo periode tahun 2005-2017



Gambar 4.32. Peta sebaran perubahan tutupan lahan periode tahun 2005-2017

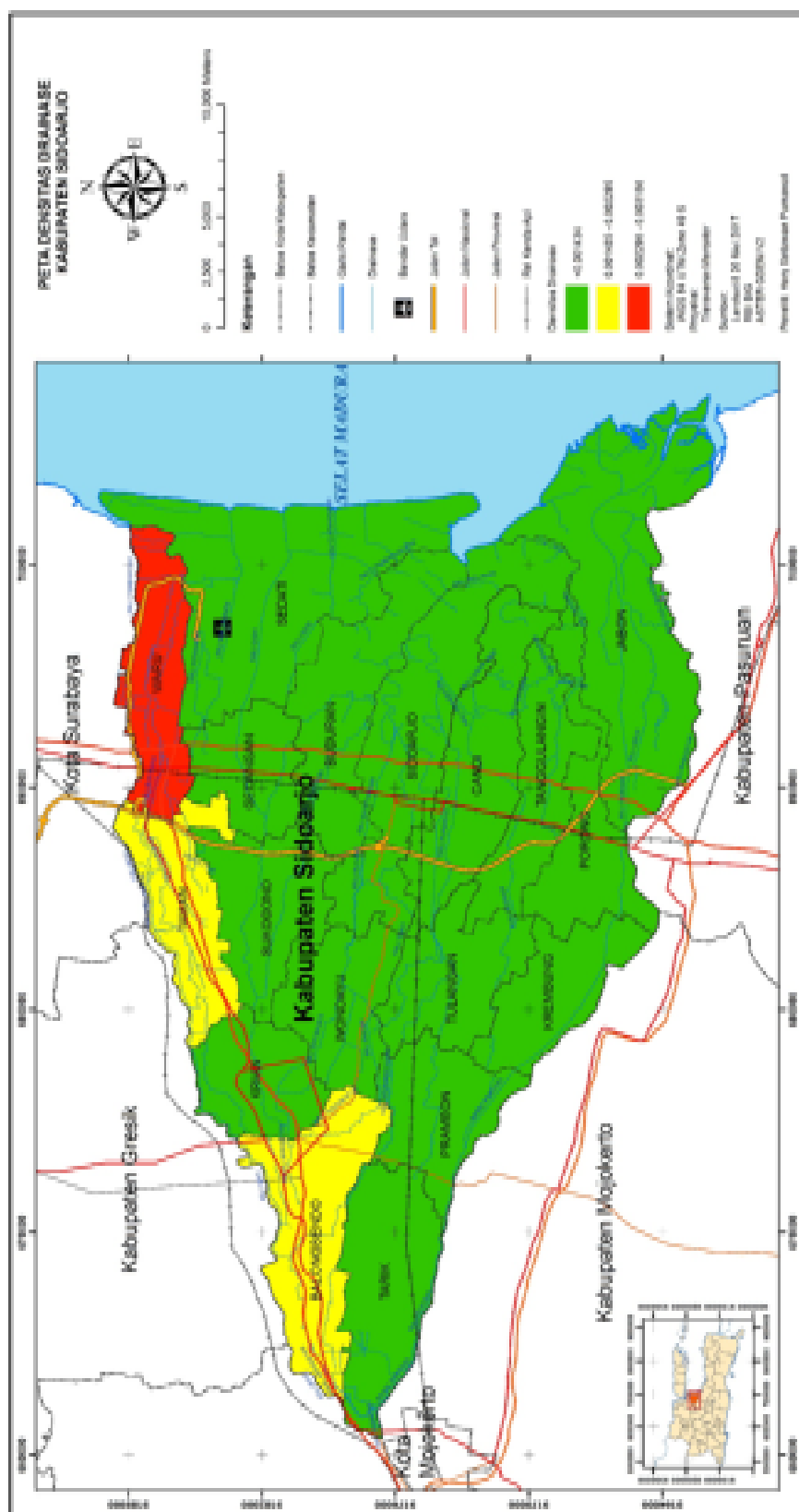
4.1.4. Densitas Drainase

Sebagai salah satu parameter utama penentu kerentanan terhadap banjir, densitas drainase harus memperhatikan unsur utamanya, yaitu drainase. Terutama dengan keberadaan Kabupaten Sidoarjo yang terletak di antara dua sungai besar yang berawal dari Sungai Brantas, yaitu Kali Mas di bagian utara, dan Kali Porong di selatan. Kabupaten Sidoarjo lebih merupakan delta di antara kedua sungai besar tersebut, selain juga sungai-sungai kecil lainnya (Gambar 4.33).

Densitas drainase merupakan besaran nilai yang didapatkan dari perbandingan panjang drainase dengan luas wilayah. Densitas drainase yang dihitung adalah densitas drainase per kecamatan di Kabupaten Sidoarjo. Sehingga densitas drainasenya adalah merupakan perbandingan antara panjang drainase di tiap kecamatan dengan luas wilayah kecamatan tersebut. Berdasarkan densitas drainase, wilayah yang mempunyai nilai densitas terendah adalah Kecamatan Krembung, yaitu $0,000535 \text{ m/m}^2$, sedangkan wilayah yang mempunyai densitas tertinggi adalah Kecamatan Waru, yaitu $0,002412 \text{ m/m}^2$. Selengkapnya, densitas drainase kecamatan di Kabupaten Sidoarjo bisa dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10. Densitas Drainase Kecamatan di Kabupaten Sidoarjo

No	Kecamatan	Luas Wilayah (m^2)	Panjang Drainase (m)	Densitas Drainase (m/m^2)
1	Balongbendo	44.343.006	79.473	0,001792
2	Buduran	43.660.556	49.721	0,001139
3	Candi	42.868.029	46.991	0,001096
4	Gedangan	24.012.201	18.211	0,000758
5	Jabon	84.902.539	99.329	0,001170
6	Krembung	27.902.206	14.931	0,000535
7	Krian	25.894.529	33.869	0,001308
8	Porong	30.722.719	23.703	0,000772
9	Prambon	29.896.442	37.282	0,001247
10	Sedati	83.290.310	86.555	0,001039
11	Sidoarjo	62.221.316	82.294	0,001323
12	Sukodono	32.862.023	20.808	0,000633
13	Taman	31.367.064	63.914	0,002038
14	Tanggulangun	29.793.418	23.898	0,000802
15	Tarik	39.735.042	45.119	0,001135
16	Tulangan	31.320.423	32.756	0,001046
17	Waru	30.636.390	73.903	0,002412
18	Wonoayu	30.292.957	29.211	0,000964



Gambar 4.33. Peta Densitas Drainase Kabupaten Sidoarjo

4.1.5. Penurunan Muka Tanah

Penurunan muka tanah (*land subsidence*) di Kabupaten Sidoarjo diketahui berdasarkan hasil pengukuran Tim Kajian Pusat Studi Kebencanaan Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya, yang membandingkan ketinggian elevasi tanah tahun 2016 dan tahun sebelumnya, yaitu tahun 2010. Sehingga kemudian bisa diketahui besaran penurunan muka tanah yang ada. Berdasarkan hasil pengukuran, bisa diketahui sebaran penurunan muka tanah sebagian besar terjadi di area sekitaran Lumpur Sidoarjo. Selengkapnya, bisa dilihat pada Gambar 4.34.

Tabel 4.11. Penurunan Muka Tanah di Kabupaten Sidoarjo

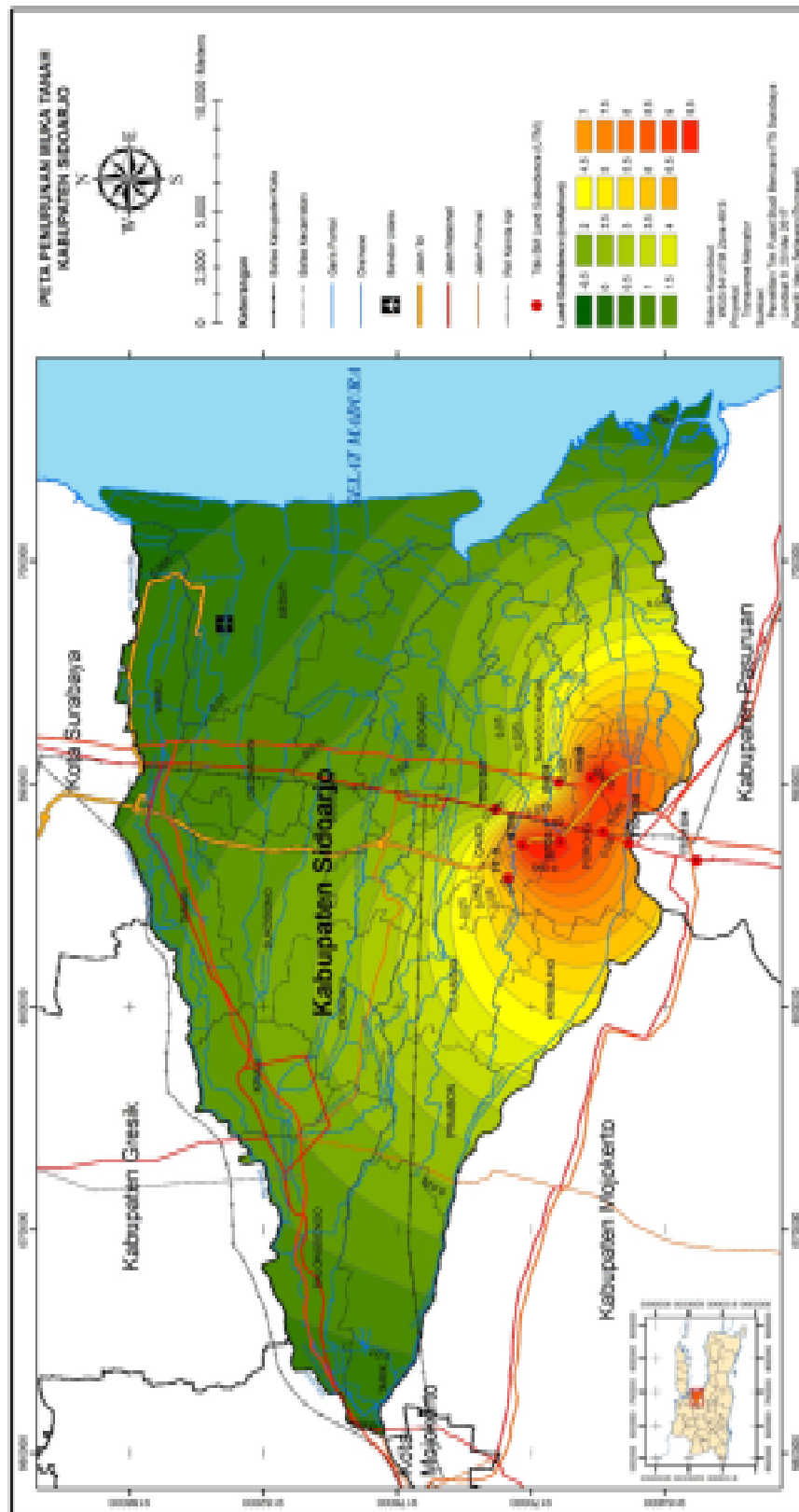
Nama Desa	Elevasi Tahun 2010 (m)	Elevasi Tahun 2016 (m)	Penurunan Muka Tanah (cm/6 thn)	Penurunan Muka Tanah (cm/thn)
Desa Kludan	32,842	32,218	62,400	10,400
Desa Wunut	33,082	32,491	59,100	9,850
Desa Gempol Sari	31,711	31,474	23,700	3,950
Desa Jati Rejo	34,008	33,477	53,100	8,850
Desa Randekan	34,621	34,235	38,600	6,433
Kejapanan	43,483	43,175	30,800	5,133
Desa Porong	39,374	38,928	44,600	7,433
Desa Ngampel Sari	32,870	32,687	18,300	3,050
Desa Glagah Arum	32,207	31,575	63,200	10,533

(Sumber: Haryanto dkk, 2016)

Berdasarkan pada Tabel 4.11, penurunan muka tanah di Kabupaten Sidoarjo tertinggi (> 10 cm/tahun) terdapat pada Desa Kludan dan Desa Glagah Arum dengan besar penurunan muka tanah rata-rata dari tahun 2010 – 2016 sebesar masing-masing 10,4 cm/tahun dan 10,533 cm/tahun. Kedua desa tersebut berada di sekitar sumur semburan lumpur lapindo yang sejak tahun 2006 aktif mengeluarkan semburan lumpurnya. Dengan fenomena alam berupa semburan lumpur dari perut bumi ini, apabila terjadi treus-menerus maka dimungkinkan akan terjadi penurunan muka tanah yang juga kedepannya. Apabila dihubungkan dengan tingkat kerentanan wilayah terhadap banjir, maka suatu wilayah dengan penurunan muka tanah yang tinggi akan semakin rentan terhadap ancaman bahaya banjir yang ada.

Karena dengan penurunan muka tanah, maka kondisi topografi suatu area akan seakin berkurang dan apabila terjadi hujan lebat atau ada limpasan naiknya air laut (rob) akan semakin tinggi berdampak pada terjadinya banjir.

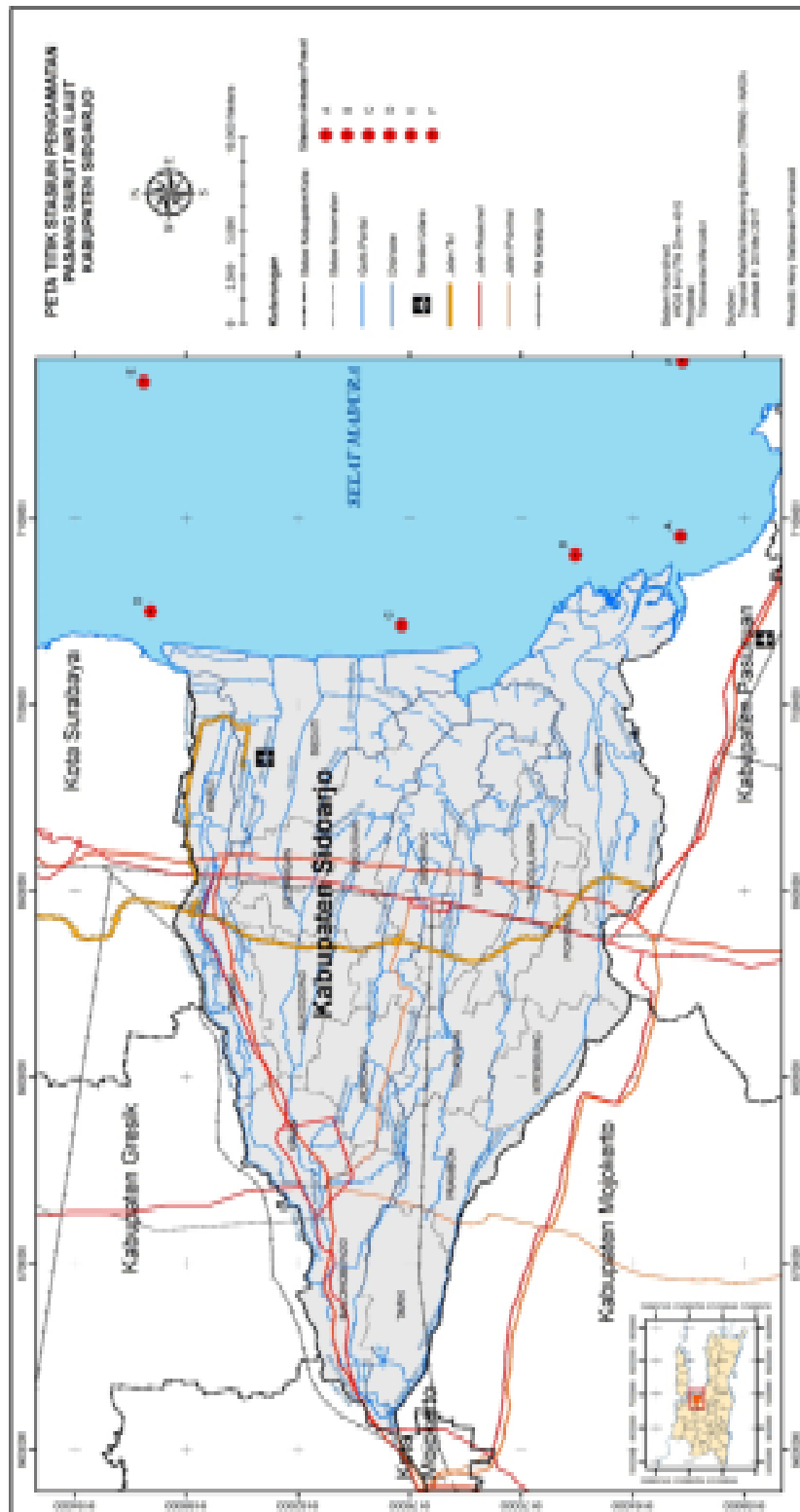
Data sebaran rata-rata penurunan muka tanah (2010-2016) per kecamatan di Kabupaten Sidoarjo sebagaimana pada Gambar 4.34. Pada gambar tersebut, dapat dilihat bahwa sebaran penurunan muka tanah dengan nilai tertinggi mendominasi wilayah dari Kecamatan Porong, Tanggulangin dan Jabon. Ketiga kecamatan ini adalah kecamatan-kecamatan yang berada di sekitar semburan lumpur lapindo, dengan rata-rata penurunan muka tanah di beberapa wilayah kecamatan-kecamatan tersebut sebesar > 8 cm/tahun. Nilai penurunan muka tanah tertinggi terdapat pada Kecamatan Porong dengan nilai rata-rata penurunan muka tanah sebesar > 10 cm/tahun. Apabila fenomena semburan lumpur lapindo terus menerus terjadi kedepannya dan penurunan muka tanah yang terjadi relatif konstan, maka penurunan muka tanah yang terjadi untuk rentang waktu 10 tahun adalah bisa mencapai 100 cm/tahun atau 1 m/tahun. Maka wilayah di Kecamatan Porong, Tanggulangin dan Jabon merupakan wilayah yang paling rentan terhadap bencana bahaya banjir dibandingkan dengan kecamatan-kecamatan lain di Kabupaten Sidoarjo.



4.1.6. Pasang Surut

Program *Nao Tide* merupakan program berbasis *Fortran*. Program ini mampu meramalkan pasang surut (pasut) dengan inputan koordinat lokasi penelitian dan tanggal peramalan. Output dari program ini adalah deret waktu (*time series*) dari elevasi muka air pasang surut terhadap *MSL* (*mean sea level*). Pada program *Nao Tide* peramalan pasang surut menggabungkan antara data elevasi muka air laut dunia yang direkam oleh satelite *TOPEX/Poseidon* dengan persamaan hidrologi, sehingga dapat menghasilkan komponen-komponen pasang surut dan dapat meramalkan pasang surut pada kondisi perairan Kabupaten Sidoarjo. Data pasang surut di perairan Kabupaten Sidoarjo diramalkan menggunakan Program *Nao Tide* untuk data 10 tahun antara 2007-2017.

Data pasut hasil prediksi menggunakan Program *Nao Tide* dianalisis data pasut hariannya. Kemudian dari data pasut harian, diperoleh rata-rata air pasang tertinggi (*Mean High Water Line/MHWL*), rata-rata air surut terendah (*Mean Low Water Line/MLWL*), dan tunggang pasut (*tidal range*). MHWL adalah rerata dari muka air tinggi, sedangkan MLWL adalah rerata dari muka air rendah (Hidayati, 2017). Tunggang pasut adalah jarak vertikal antara muka air tinggi dan muka air rendah dalam satu siklus pasang surut. Dalam analisis kerentanan banjir, nilai yang dipergunakan adalah nilai tunggang pasut rata-rata tahun 2007-2017 Perairan Sidoarjo. Pasut Perairan Sidoarjo dianalisis berdasarkan 6 (enam) lokasi stasiun pengamatan pasut (Gambar 4.35). Penentuan lokasi stasiun pasut didasarkan pada lokasi perairan pantai (A, B, C, D) diutamakan yang ada muara sungai, dan lokasi perairan yang agak ketengah (E, F). Dari data hasil pengamatan pasut stasiun A sampai F, dapat dianalisis sebaran pasut perairan.



Gambar 4.35. Stasiun pengamatan pasang surut di perairan Kabupaten Sidoarjo

Data tunggang pasang surut per bulan selama tahun 2007-2017 hasil peramalan NaoTide sebagaimana pada Tabel 4.12-4.17.

Tabel 4.12. Data Tinggi Pasang Surut Perairan Sidoarjo pada Titik Stasiun A

No	Tahun	MHWL (cm)	MLWL (cm)	Tunggang Pasut (cm)	Tunggang Pasut (m)
1	2007	129	-145	273	2,73
2	2008	129	-143	272	2,72
3	2009	125	-146	271	2,71
4	2010	123	-139	262	2,62
5	2011	119	-136	254	2,54
6	2012	121	-136	258	2,58
7	2013	120	-135	256	2,56
8	2014	121	-134	255	2,55
9	2015	115	-126	241	2,41
10	2016	122	-129	251	2,51
11	2017	119	-130	249	2,49
Rerata Tidal Range Perairan Sekitar Stasiun A=				258	2,58

Tabel 4.13. Data Tinggi Pasang Surut Perairan Sidoarjo pada Titik Stasiun B

No	Tahun	MHWL (cm)	MLWL (cm)	Tunggang Pasut (cm)	Tunggang Pasut (m)
1	2007	128	-144	271	2,71
2	2008	128	-142	270	2,70
3	2009	124	-145	269	2,69
4	2010	122	-138	261	2,61
5	2011	118	-135	252	2,52
6	2012	120	-135	256	2,56
7	2013	120	-134	254	2,54
8	2014	120	-133	253	2,53
9	2015	114	-125	239	2,39
10	2016	121	-128	249	2,49
11	2017	118	-128	247	2,47
Rerata Tidal Range Perairan Sekitar Stasiun B =				256	2,56

Tabel 4.14. Data Tinggi Pasang Surut Perairan Sidoarjo pada Titik Stasiun C

No	Tahun	MHWL (cm)	MLWL (cm)	Tunggang Pasut (cm)	Tunggang Pasut (m)
1	2007	126	-142	269	2,69
2	2008	127	-140	267	2,67
3	2009	123	-144	266	2,66
4	2010	121	-137	258	2,58
5	2011	116	-133	249	2,49
6	2012	119	-133	252	2,52
7	2013	118	-132	250	2,50
8	2014	119	-131	250	2,50
9	2015	113	-122	235	2,35
10	2016	119	-127	245	2,45
11	2017	117	-127	243	2,43
Rerata Tunggang Pasut Perairan Sekitar Stasiun C =				253	2,53

Tabel 4.15. Data Tinggi Pasang Surut Perairan Sidoarjo pada Titik Stasiun D

No	Tahun	MHWL (cm)	MLWL (cm)	Tunggang Pasut (cm)	Tunggang Pasut (m)
1	2007	124	-140	264	2,64
2	2008	125	-138	264	2,64
3	2009	121	-141	263	2,63
4	2010	120	-134	254	2,54
5	2011	114	-130	245	2,45
6	2012	117	-130	247	2,47
7	2013	116	-129	245	2,45
8	2014	116	-128	244	2,44
9	2015	110	-120	230	2,30
10	2016	116	-124	241	2,41
11	2017	114	-124	238	2,38
Rerata Tidal Range Perairan Sekitar Stasiun D =				249	2,49

Tabel 4.16. Data Tinggi Pasang Surut Perairan Sidoarjo pada Titik Stasiun E

No	Tahun	MHWL (cm)	MLWL (cm)	Tunggang Pasut (cm)	Tunggang Pasut (m)
1	2007	126,3	-134,4	261	2,61
2	2008	127,0	-140,1	267	2,67
3	2009	121,3	-141,3	263	2,63
4	2010	120,0	-134,3	254	2,54

No	Tahun	MHWL (cm)	MLWL (cm)	Tunggang Pasut (cm)	Tunggang Pasut (m)
5	2011	114,2	-130,3	244	2,44
6	2012	116,9	-130,0	247	2,47
7	2013	115,8	-129,3	245	2,45
8	2014	116,2	-127,9	244	2,44
9	2015	110,1	-120,1	230	2,30
10	2016	116,3	-124,4	241	2,41
11	2017	113,8	-124,4	238	2,38
Rerata Tidal Range Perairan Sekitar Stasiun E =				249	2,49

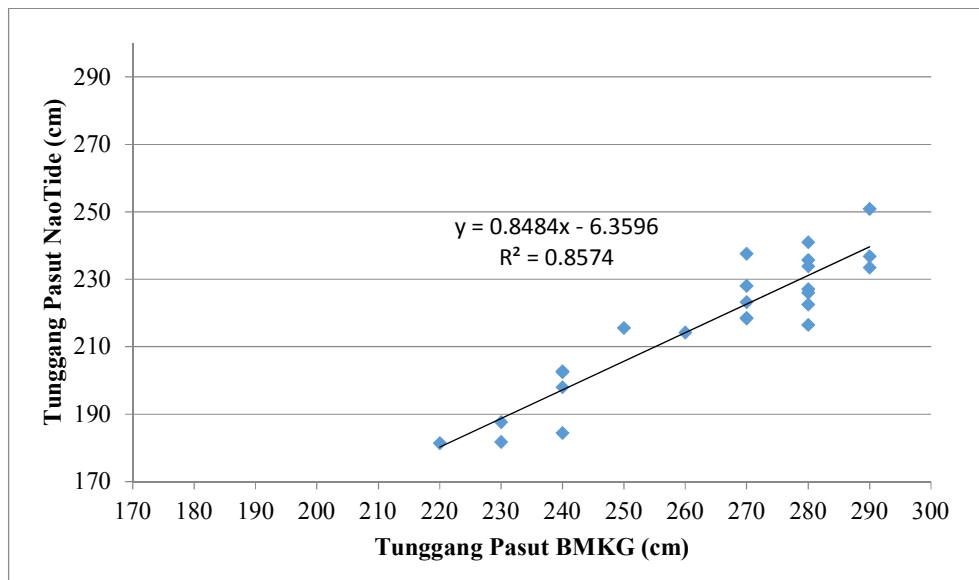
Tabel 4.17. Data Tinggi Pasang Surut Perairan Sidoarjo pada Titik Stasiun F

No	Tahun	MHWL (cm)	MLWL (cm)	Tunggang Pasut (cm)	Tunggang Pasut (m)
1	2007	129	-145	273	2,73
2	2008	129	-143	272	2,72
3	2009	125	-146	271	2,71
4	2010	123	-139	262	2,62
5	2011	119	-136	254	2,54
6	2012	121	-136	258	2,58
7	2013	120	-135	256	2,56
8	2014	121	-134	255	2,55
9	2015	115	-126	241	2,41
10	2016	122	-129	251	2,51
11	2017	119	-130	249	2,49
Rerata Tidal Range Perairan Sekitar Stasiun F =				258	2,58

Sebelum dilakukan analisis data pasang surut lebih lanjut, data pasang surut hasil prediksi menggunakan program NaoTide perlu dilakukan verifikasi. Verifikasi data prediksi dilakukan untuk melihat seberapa valid data kita apabila dilakukan perbandingan dengan data dari sumber lain atau hasil pengukuran langsung di lapang. Untuk verifikasi data prediksi NaoTide dilakukan dengan membandingkan dengan data pasut BMKG. Verifikasi data dilakukan untuk tahun 2015 dan 2016 berdasarkan ketersediaan data dari BMKG.

Hasil verifikasi data berupa grafik regresi antara tunggang pasut hasil running NaoTide dan data pasut BMKG sebagaimana pada Gambar 4.36. Metode ini sebagaimana dijelaskan oleh Emery dan Thomson (2001) dalam bukunya "*Data*

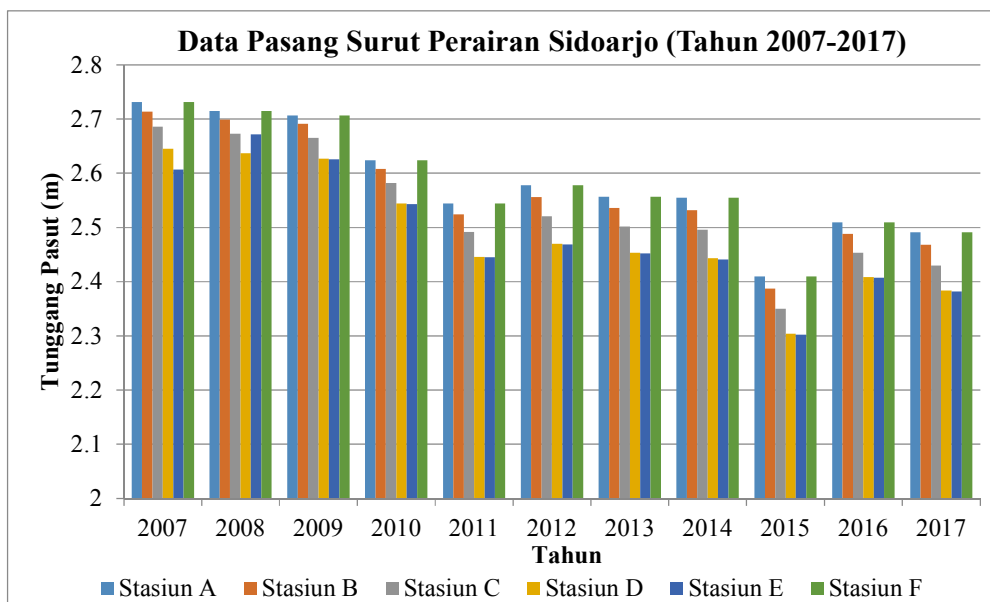
Analysis Methods in Physical Oceanography". Dua data dari sumber yang berbeda dapat dibandingkan dan dilakukan regresi, selanjutnya dicek tingkat akurasi. Dari Gambar 4.36 dapat dilihat bahwa antara data pasut NaoTide dan BMKG mempunyai akurasi yang cukup tinggi dimana regresi linier yang diperoleh dengan nilai $R^2 = 0.857$. Berdasarkan hasil verifikasi data tersebut, maka data pasut NaoTide dapat dipergunakan dalam analisis ini.



Gambar 4.36. Verifikasi data antara data tunggang pasut hasil running NaoTide dengan data pasut BMKG dengan menggunakan *Cross plot*

Berdasarkan Tabel 4.12-4.17, bisa diketahui rerata besaran tunggang pasut pada titik A-F, dengan kisaran masing-masing 2,58 m; 2,56 m; 2,53 m; 2,49 m; 2,49m; dan 2,58 m. Tunggang pasut (*tidal range*) tertinggi berada di titik A dan F, dan terendah berada pada titik E. Dimana titik A terletak di bagian Perairan Sidoarjo bagian selatan dan titik E berada di bagian utara, atau dapat disimpulkan bahwa tunggang pasut perairan Sidoarjo bagian selatan lebih tinggi dbandingkan bagian utara. Sehingga perairan Sidoarjo bagian selatan lebih rentan terhadap bahaya banjir terutama berupa banjir rob berupa limpasan air laut ke daratan.

Selanjutnya disajikan grafik pasang surut semua stasiun mulai dari tahun 2007-2017 sebagaimana pada Gambar 4.37 dan data tinggi pasang surut untuk semua stasiun pengamatan pada Tabel 4.18.



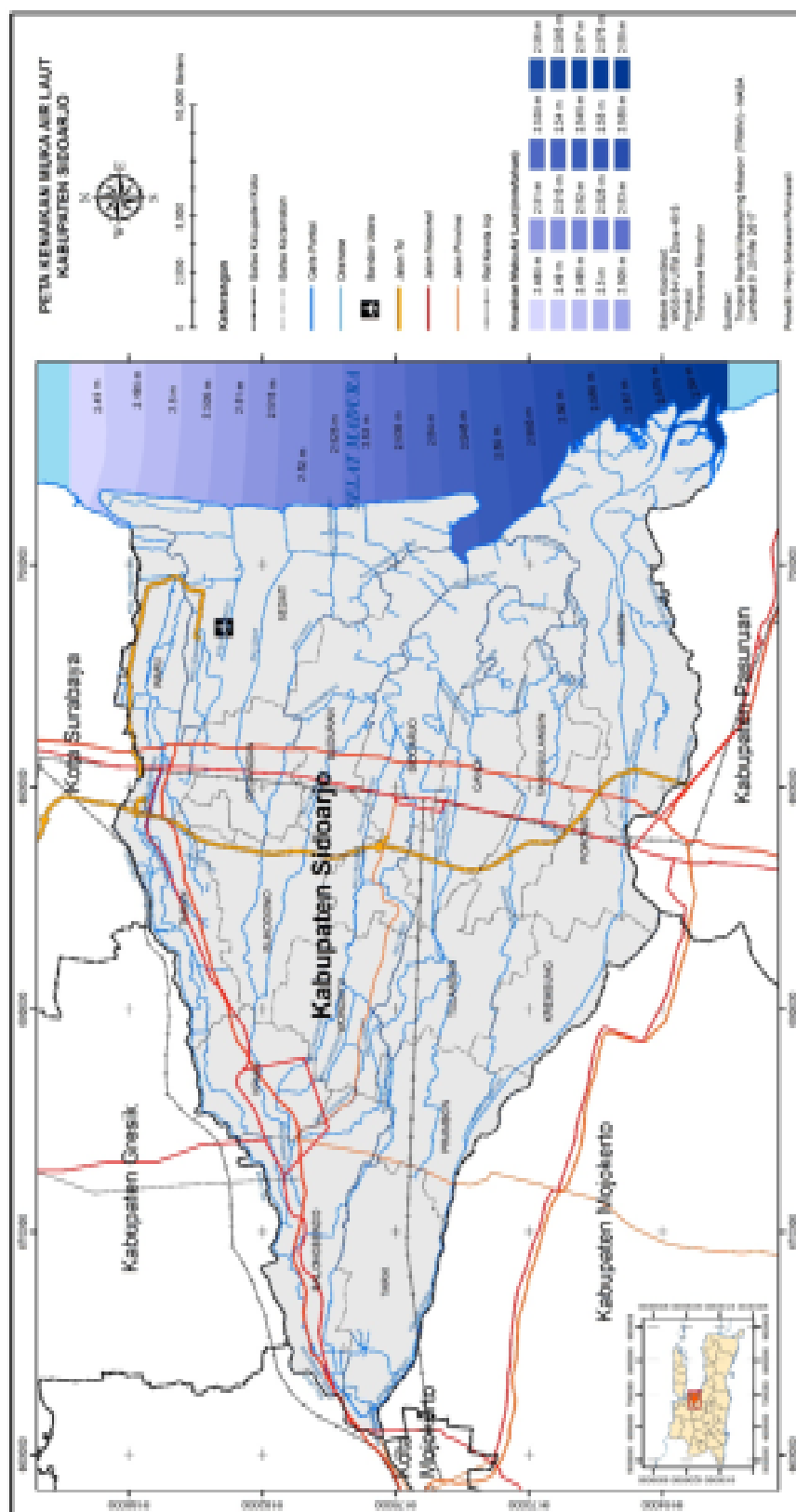
Gambar 4.37. Grafik data pasang surut Perairan Sidoarjo untuk semua stasiun pengamatan antara tahun 2007-2017

Tabel 4.18. Data Tinggi Pasang Surut untuk Semua Stasiun Pengamatan

Stasiun	Longitude (°)	Latitude (°)	Tunggang Pasut (m)
A	112.89524	-7.58221	2,58
B	112.88595	-7.53102	2,56
C	112.85137	-7.44664	2,53
D	112.85759	-7.32477	2,49
E	112.96905	-7.32085	2,49
F	112.98025	-7.58265	2,58

Sebaran tunggang pasang surut di sepanjang perairan Sidoarjo apabila diamati berdasarkan sebarannya, lihat Tabel 4.18 dan Gambar 4.38, terdapat variasi sebaran antara perairan Sidoarjo bagian utara dan bagian selatan. Stasiun A, B, C dan F adalah stasiun-stasiun pasut yang berada di perairan Sidoarjo bagian selatan, dengan nilai tunggang pasut berada di nilai 2,53 m sampai 2,58 m. Sedangkan nilai tunggang pasut untuk Perairan utara Sidoarjo memiliki tunggang pasut 2,49 meter. Apabila dihubungkan antara besar tunggang pasut dengan kerentanan banjir, maka

semakin besar tunggang pasut suatu perairan dapat berdampak pada semakin rentannya wilayah pesisir dan pantai terhadap bahaya banjir terma banjir dari limpasan air laut ke darat (rob). Dimana untuk wilayah Sidoarjo berdasarkan sebaran tunggang pasutnya, wilayah Jabon adalah wilayah perairan yang paling rentan terhadap bahaya banjir rob hubungannya dengan besarnya tunggang pasut di perairan sekitar pesisir dan pantai Jabon.



Gambar 4.38. Sebaran tinggi pasang surut Perairan Kabupaten Sidoarjo

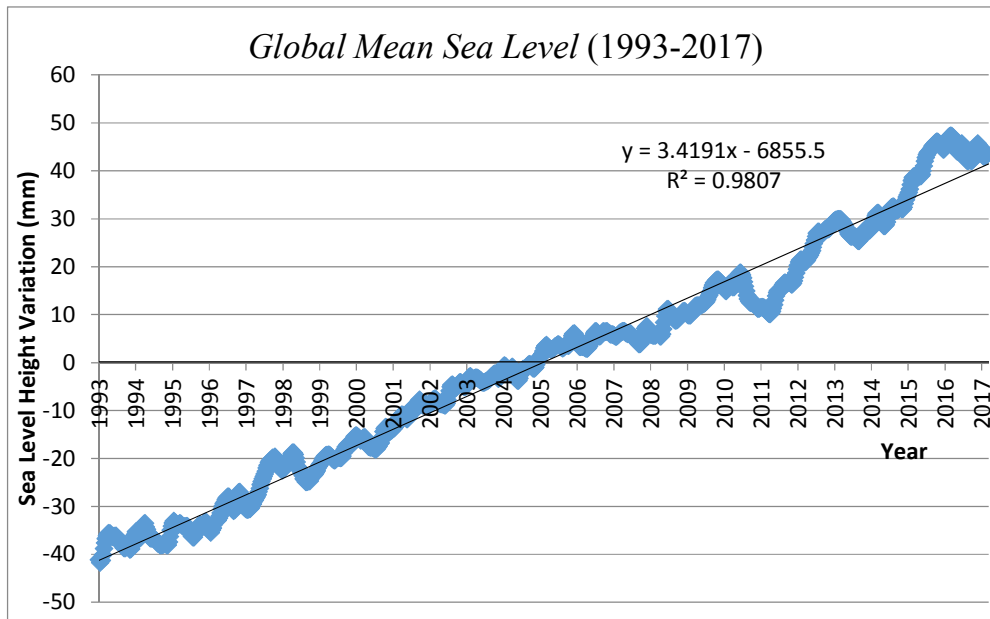
4.1.7. Kenaikan Muka Air Laut

Kenaikan muka air laut (*sea level rise*) di Kabupaten Sidoarjo bisa diketahui dengan menggunakan data dari AVISO dengan menggunakan data satelit TOPEX dan JASON. Data yang ada merupakan rerata besaran kenaikan muka air laut secara global tahun 1993-2017. Selengkapnya bisa dilihat pada Tabel 4.19 dan Gambar 4.39.

Tabel 4.19. Kenaikan Muka Air Laut Global Tahun 1993-2017

Tahun	GMSL TOPEX/JASON (mm)	GMSL Fluctuation (mm)	GMSL Trendline (mm) ($y = 3.419x - 6855$)	GMSL Trendline Fluctuation (mm)
1993	-37,78		-40,93	
1994	-36,43	1,34	-37,51	3,42
1995	-34,29	2,15	-34,10	3,42
1996	-30,63	3,65	-30,68	3,42
1997	-27,59	3,04	-27,26	3,42
1998	-22,20	5,39	-23,84	3,42
1999	-18,90	3,30	-20,42	3,42
2000	-17,39	1,51	-17,00	3,42
2001	-10,27	7,12	-13,58	3,42
2002	-6,61	3,66	-10,16	3,42
2003	-3,27	3,35	-6,74	3,42
2004	-1,29	1,98	-3,32	3,42
2005	3,53	4,82	0,10	3,42
2006	4,98	1,45	3,51	3,42
2007	5,75	0,77	6,93	3,42
2008	8,43	2,68	10,35	3,42
2009	13,45	5,02	13,77	3,42
2010	14,95	1,50	17,19	3,42
2011	14,24	-0,71	20,61	3,42
2012	24,99	10,74	24,03	3,42
2013	27,66	2,68	27,45	3,42
2014	31,12	3,46	30,87	3,42
2015	41,80	10,69	34,28	3,42
2016	44,69	2,89	37,70	3,42
2017	43,35	-1,34	41,12	3,42
Rata-rata =		3,38		3,42

Keterangan: GMSL (*Global Mean Sea Level*)



Gambar 4.39. *Global Mean Sea Level Variation* dari tahun 1993-2017
(Sumber data: AVISO, 2017)

4.2. Analisis Kerentanan Banjir

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memetakan zona bahaya banjir di Kabupaten Sidoarjo. Dalam memetakan zona kerentanan banjir, digunakan hubungan antar masing-masing parameter kerentanan banjir di wilayah studi. Tiap-tiap parameter kerentanan diberikan bobot sesuai dengan kontribusi parameter pada potensi kejadian banjir di wilayah Kabupaten Sidoarjo. Dari hasil analisa di lapang dan wawancara dari berbagai sumber serta masyarakat, diberikan pembobotan untuk masing-masing parameter berdasarkan besar kontribusi parameter. Nilai bobot diberikan mulai angka 1 sampai dengan nilai 7, dimana diberikan sampai 7 sesuai dengan banyaknya parameter yaitu sebanyak 7 (tujuh) parameter kerentanan banjir. Berdasarkan analisis dilapang dan dari berbagai sumber terpercaya, urutan parameter berdasarkan besarnya kontribusinya terhadap kejadian banjir di wilayah Kabupaten Sidoarjo adalah (7) parameter tutupan lahan, (6) curah hujan, (5) Densitas drainase, (4) Kelerengan, (3) Penurunan muka tanah, (2) Pasang surut, dan (1) Kenaikan muka air laut. Pembobotan tiap parameter (*factor weight*) diberikan sebagaimana pada Tabel 4.20 untuk tiap parameter kerentanan banjir.

Tabel 4.20. Pembobotan Tiap Parameter Kerentanan Banjir (*Factor Weight*)

Parameter	Bobot
Tutupan Lahan	7
Curah Hujan	6
Densitas Drainase	5
Kelerengan	4
Penurunan Muka Tanah	3
Pasang Surut	2
Kenaikan Muka Air Laut	1

Pada penelitian ini digunakan analisis *AHP*, yang merupakan pendekatan pengambilan keputusan multi kriteria yang diperkenalkan oleh Saaty (1977) dan Saaty (1994). *AHP* adalah alat pendukung keputusan, yang digunakan untuk memecahkan masalah keputusan yang kompleks. Analisa *AHP* dengan menggunakan metode Pairwise Comparison ditujukan untuk menentukan tingkat kepentingan (skala prioritas) dari parameter Tutupan Lahan, Curah Hujan, Densitas

Drainase, Kelerengan, Penurunan Muka Tanah, Pasang Surut dan Kenaikan Muka Air Laut, yang digunakan sebagai parameter pada analisis kerentanan banjir ini. Kriteria yang digunakan atas tujuh parameter tersebut adalah sebagai berikut: bobot 7 pada parameter tutupan lahan artinya tutupan lahan mempunyai kontribusi 7 kali lebih besar dibandingkan dengan parameter kenaikan muka air laut pada kejadian banjir di Sidoarjo. Parameter curah hujan mempunyai bobot 6 kali lebih besar dibandingkan parameter kenaikan muka air laut, dan seterusnya.

Pemberian ranking (pemeringkatan) pada ketujuh parameter kerentanan banjir adalah sebagaimana pada Tabel 4.20 Pemeringkatan tersebut berdasarkan pada analisis matriks *Pairwise Comparison*. Hasil dari matriks pada Tabel 4.21 tersebut kemudian diubah menjadi dalam matriks bentuk desimal (Tabel 4.22).

Tabel 4.21. *Ranking* Parameter Kerentanan Banjir

Kriteria	Tutupan Lahan	Curah Hujan	Densitas Drainase	Kelerengan	Penurunan Muka Tanah	Pasang Surut	Kenaikan Muka Air Laut
Tutupan Lahan	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00
Curah Hujan	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00
Densitas Drainase	0,33	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00
Kelerengan	0,25	0,33	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00
Penurunan Muka Tanah	0,20	0,25	0,33	0,50	1,00	2,00	3,00
Pasang Surut	0,17	0,20	0,25	0,33	0,50	1,00	2,00
Kenaikan Muka Air Laut	0,14	0,17	0,20	0,25	0,33	0,50	1,00

Tabel 4.22. Tabel Perbandingan Tertimbang (*Weighted Comparison*)

Kriteria	TL	CH	DD	K	PMT	PS	KMAL	Prioritas	Prosentase
TL	0,39	0,45	0,41	0,36	0,32	0,28	0,25	0,35	35 %
CH	0,19	0,22	0,27	0,27	0,25	0,23	0,21	0,238	24 %

Kriteria	TL	CH	DD	K	PMT	PS	KMAL	Prioritas	Prosentase
DD	0,13	0,11	0,14	0,18	0,19	0,19	0,18	0,159	16 %
K	0,10	0,07	0,07	0,09	0,13	0,14	0,14	0,105	11 %
PMT	0,08	0,06	0,05	0,05	0,06	0,09	0,11	0,070	7 %
PS	0,06	0,04	0,03	0,03	0,03	0,05	0,07	0,046	5 %
KMAL	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,04	0,032	3 %

Prioritas (Tabel 4.21-4.22) juga disebut vektor eigen utama yang dinormalisasi, dan ini digunakan untuk menimbang lapisan raster standar. Dari Tabel tersebut, dilakukan cek konsistensi CI dan menghitung CR. Langkah ini diperlukan untuk menentukan apakah perbandingan kita konsisten. CR dirancang sedemikian rupa sehingga jika $CR \leq 10\%$, rasio tersebut menunjukkan tingkat konsistensi yang wajar dalam perbandingan berpasangan.

Hasil akhir perhitungan diperoleh Indeks Konsistensi (CI) sebesar 0,0462 dan Random Indeks (RI) untuk 7 (tujuh) parameter adalah 1,32. Nilai maksimum yang diijinkan untuk CI dan RI adalah $CI \leq 0,1$ dan $CR \leq 10\%$. Pada penelitian ini diperoleh nilai CI sebesar 0,0462 ($CI \leq 0,1$) dan CR sebesar 3,5% ($CR \leq 10\%$) sehingga nilai CI dan CR memenuhi standar maksimum yang diijinkan. Nilai-nilai tersebut adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Lambda } (\lambda) &= 7,28 \\
 N &= 7 \\
 RI &= 1,32 \\
 CI &= 0,0462 \\
 CR &= 0,035 (3,5\%)
 \end{aligned}$$

Karena CR kurang dari 10%, rasio tersebut menunjukkan bahwa konsistensi yang masuk akal dalam analisis ini, dan hal ini menyiratkan bahwa bobot yang ditentukan dapat diterima. Selain itu, perhitungan vektor eigen digunakan sebagai koefisien untuk masing-masing peta faktor yang digabungkan dalam *overlay* tertimbang (Tabel 4.23).

Tabel 4.23. Peringkat Bobot Parameter Kerentanan Banjir

Parameter	Berat Relatif	Reklasifikasi Parameter	Peringkat
Tutupan Lahan, TL (Anderson, 1976; modifikasi)	35 %	Perairan	1
		Tanah Lapang	2
		Mangrove	3
		Tambak	4
		Pertanian	5
		Industri	6
		Permukiman	7
Curah Hujan, CH (mm/hari) (BMKG, 2010; dan modifikasi)	24 %	<5	1
		5-10	2
		10-20	3
		20-50	4
		50-70	5
		70-100	6
		>100	7
Densitas Drainase, DD (m/m ²) (Rimba, 2017; dan modifikasi)	16 %	<0,001434	1
		0,001434 – 0,002295	2
		0,002295 – 0,003156	3
		0,003156 – 0,004018	4
		0,004018 – 0,004879	5
		0,004879 – 0,005740	6
		>0,005740	7
Kelerengan, K (%) (Haynes, 1998; dan modifikasi)	11 %	> 30,0	1
		15,0 – 30,0	2
		10,0 -15,0	3
		5,0 -10,0	4
		2,0-5,0	5
		0,5-2,0	6
		<0,5	7
Penurunan Muka Tanah, PMT (cm/tahun) (Abidin, 2001; dan modifikasi)	7%	< 2,5	1
		2,5 – 4,0	2
		4,0 – 5,5	3
		5,5 – 7,0	4
		7,0 – 8,5	5
		8,5 - 10	6
		>10	7
Pasang Surut, PS (m) (Gornitz dkk, 1991; dan modifikasi)	5%	<1,0	1
		1,0 – 2,0	2
		2,0 – 3,0	3
		3,0 – 4,0	4
		4,0 -5,0	5
		5,0 – 6,0	6
		>6.0	7

Parameter	Berat Relatif	Reklasifikasi Parameter	Peringkat
Kenaikan Muka Air Laut, KMAL (mm/thn) (Gornitz dkk, 1991; dan modifikasi)	3%	<-1,0	1
		-1,0 – 0,0	2
		0,0 – 1,0	3
		1,0 – 2,0	4
		2,0 – 3,0	5
		3,0 – 4,0	6
		>4.0	7

Pembobotan masing-masing parameter kerentanan banjir dilakukan untuk analisis multi-kriteria kerentanan area banjir dengan menggunakan pendekatan GIS. Untuk perhitungan kerentanan area terhadap banjir, berdasarkan pada Tabel 4.20-4.23, diperoleh rumus untuk perhitungan Indeks Kerentanan Banjir di Kabupaten Sidoarjo. Rumus perhitungan Indeks Kerentanan Banjir tersebut adalah sebagaimana pada rumus berikut:

$$\begin{aligned} \text{Indeks Kerentanan Banjir} = & (0.35 \times \text{TL}) + (0.238 \times \text{CH}) + (0.159 \times \text{DD}) \\ & + (0.105 \times \text{K}) + (0.07 \times \text{PMT}) + (0.046 \times \text{PS}) \\ & + (0.032 \times \text{KMAL}). \end{aligned}$$

Hasil dari pemetaan kerentanan banjir di wilayah daratan Kabupaten Sidoarjo adalah sebagaimana pada Gambar 4.42. Kerentanan wilayah banjir ini dikategorikan menjadi 7 (tujuh) kriteria yaitu "Sangat tidak rentan", "Tidak rentan", "Sedikit rentan", "Sedang", "Rentan", "Sangat Rentan", dan "Sangat rentan sekali".

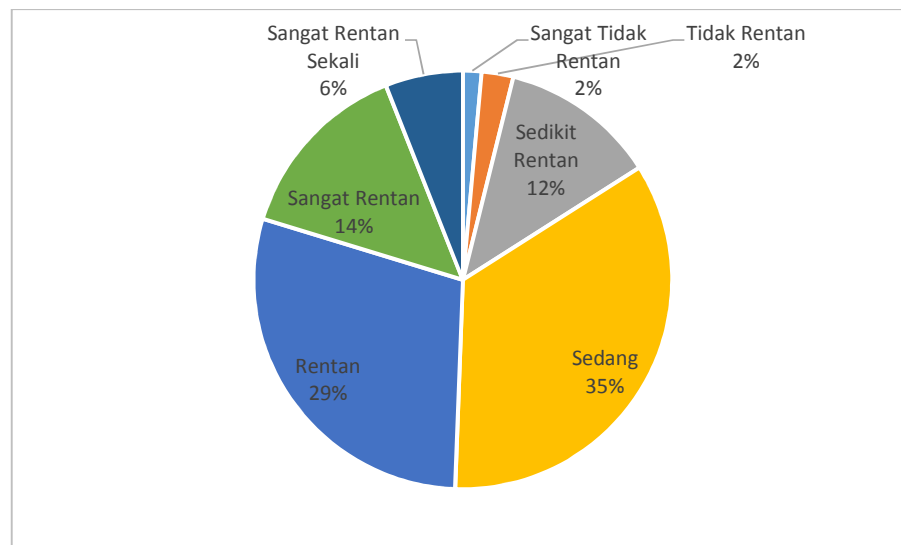
Berdasarkan analisa kerentanan terhadap banjir, 34,61% wilayah Kabupaten Sidoarjo mempunyai kerentanan sedang, sedangkan 29,14% merupakan daerah rentan banjir. Selengkapnya bisa terlihat pada Tabel 4.24. Apabila daerah rawan merupakan daerah berkategori rentan, sangat rentan, dan sangat rentan sekali, sedangkan daerah tidak rawan merupakan daerah berkategori sangat tidak rentan, tidak rentan, sedikit rentan, dan sedang, maka wilayah Kabupaten Sidoarjo yang rentan hampir sebagian daripada wilayahnya, atau sebesar 49,41%. Selengkapnya, bisa dilihat pada Tabel 4.24.

Tabel 4.24. Luasan Kerentanan Banjir Kabupaten Sidoarjo

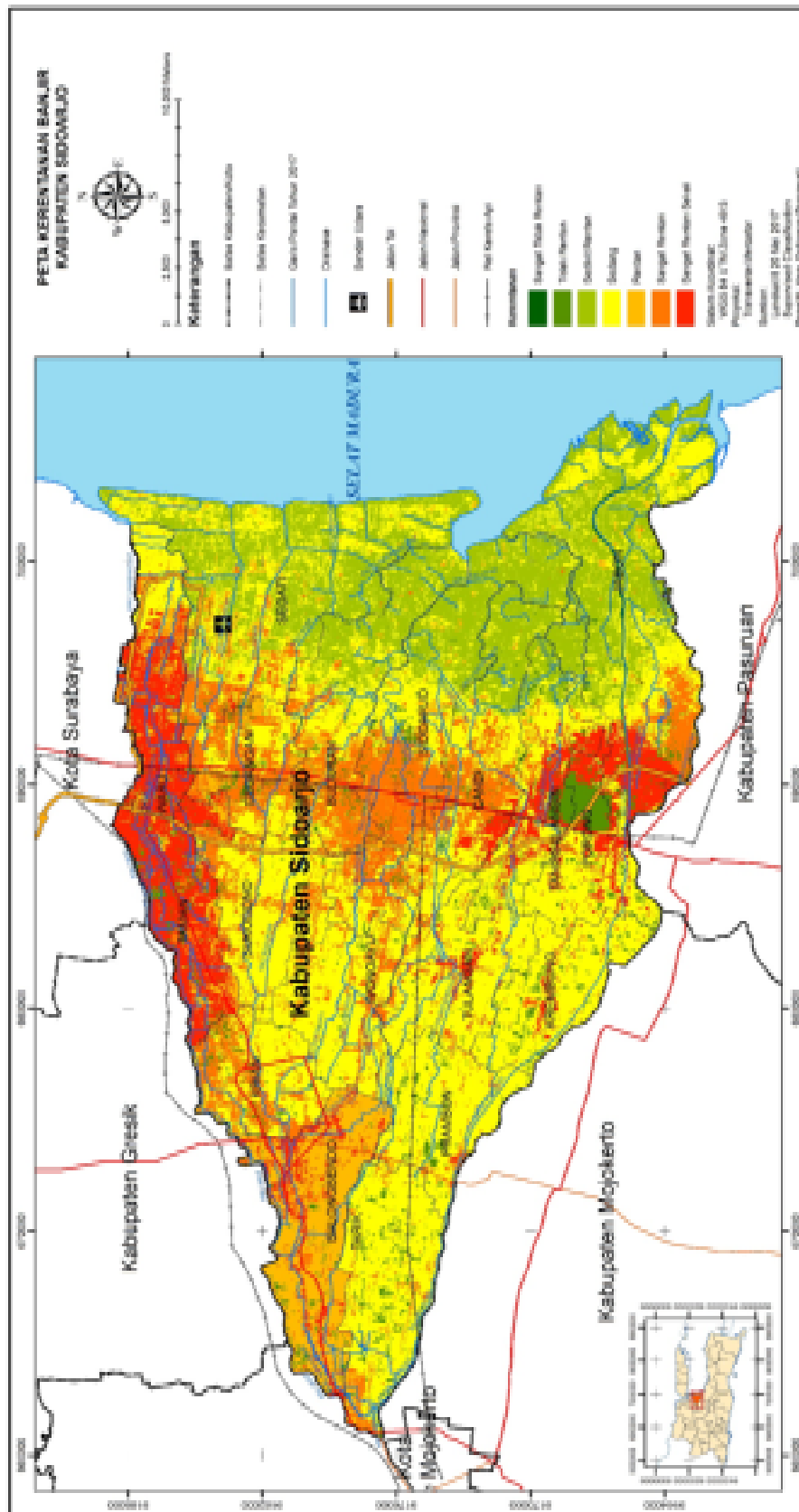
Kerentanan	Luas (m ²)	Prosentase (%)
Sangat Tidak Rentan	17.811.731,51	1,45
Tidak Rentan	29.762.937,19	2,43
Sedikit Rentan	148.246.794,78	12,09
Sedang	424.296.988,45	34,61
Rentan	357.159.212,41	29,14
Sangat Rentan	174.961.359,94	14,27
Sangat Rentan Sekali	73.551.082,98	6
Jumlah	1.225.790.107,26	100

Tabel 4.25. Luas Keretanan Banjir Secara Umum di Kabupaten Sidoarjo

Kerentanan	Luas (m ²)	Prosentase (%)
Tidak Rentan	620.118.451,92	50,59
Rentan	605.671.655,33	49,41
Jumlah	1.225.790.107,26	100,00



Gambar 4.41. Diagram persentase kerentanan terhadap banjir Kabupaten Sidoarjo



Gambar 4.42. Peta kerentanan banjir Kabupaten Sidoarjo

Berdasarkan Gambar 4.42, maka bisa dilihat sebaran wilayah rentan wilayah banjir di Kabupaten Sidoarjo. Selengkapnya bisa dilihat prosentase kerentanan banjir berdasarkan wilayah kecamatan pada Gambar 4.43a dan Gambar 4.43b. Sehingga, bisa diketahui karakter kerentanan banjir pada masing-masing kecamatan, yaitu:

1. Kecamatan Balongbendo

Pada wilayah Kecamatan Balongbendo, sebagian besar wilayahnya rentan banjir, yaitu sebesar 78%, dan sangat rentan banjir, 16%;

2. Kecamatan Buduran

Pada wilayah Kecamatan Buduran, secara umum, terbagi merata kerentanan banjirnya, yaitu rentan banjir dan sangat rentan masing-masing 20% dan 16%, sedangkan sedang dan sedikit rentan masing-masing 39% dan 22%;

3. Kecamatan Candi

Wilayah Kecamatan Candi terbagi merata kerentanan banjirnya, yaitu rentan dan sangat rentan masing-masing 24% dan 19%, sedangkan sedang dan sedikit rentan masing-masing 38% dan 15%;

4. Kecamatan Gedangan

Wilayah Kecamatan Gedangan sebagian besar wilayahnya rentan banjir, yaitu sangat rentan dan rentan masing-masing 36% dan 31%, sedangkan sedang adalah 24%;

5. Kecamatan Jabon

Wilayah Kecamatan Jabon sebagian besar kecil kerentanannya, karena didominasi oleh kerentanan sedang dan sedikit rentan masing-masing 36% dan 31%. Meskipun demikian, masih terdapat bagian wilayah yang sangat rentan dan rentan sekali, yaitu 12% dan 9% dari wilayahnya;

6. Kecamatan Krembung

Kerentanan banjir di wilayah Kecamatan Krembung terbagi merata, yaitu rentan banjir sebesar 45% sedangkan sedang sebesar 44% dari luas wilayahnya;

7. Kecamatan Krian

Kecamatan Krian sebagian besar wilayahnya rentan banjir, yaitu 37% berkategori rentan, dan 23% sangat rentan. Terdapat juga 35% wilayah yang berkategori sedang;

8. Kecamatan Porong

Kerentanan banjir di Kecamatan Porong tersebar secara merata, yaitu 27% berkategori rentan, 10% wilayahnya sangat rentan, dan 9% berkategori sangat rentan sekali. Meskipun, terdapat 33% wilayahnya berkerentanan sedang;

9. Kecamatan Prambon

Kecamatan Prambon mempunyai kerentanan banjir yang merata, yaitu 46% wilayahnya berkategori rentan, dan 45% berkategori sedang;

10. Kecamatan Sedati

Wilayah Kecamatan Sedati termasuk kecamatan yang mempunyai kerentanan relatif lebih aman, karena 48% wilayahnya berkategori kerentanan sedang 31% berkategori sedikit rentan. Meskipun demikian, masih terdapat wilayah rentan banjir, yaitu sebesar 15% wilayah, dan sangat rentan, sebesar 6%;

11. Kecamatan Sidoarjo

Wilayah Kecamatan Sidoarjo relatif tergolong aman, karena kerentanan wilayahnya didominasi oleh kerentanan sedang, sebesar 42% dan sedikit rentan sebesar 29%. Meskipun demikian, masih terdapat 24% wilayah yang berkategori rentan;

12. Kecamatan Sukodono

Kecamatan Sukodono didominasi oleh wilayah yang rentan banjir, yaitu 43% luas wilayahnya berkategori rentan, dan 14% berkategori sangat rentan. Adapun wilayah berkategori kerentanan sedang sebesar 42%;

13. Kecamatan Taman

Kecamatan Taman termasuk wilayah yang mempunyai prosentase kerentanan banjir sangat tinggi di Kabupaten Sidoarjo, yaitu 65% wilayahnya berkategori sangat rentan, 15% berkategori rentan, dan 11% berkategori sangat rentan sekali;

14. Kecamatan Tanggulangin

Kerentanan banjir di wilayah Kecamatan Tanggulangin tersebar secara merata, yaitu 33% berkategori kerentanan sedang, sedangkan kategori rentan dan sangat rentan masing-masing sebesar 27% dan 15% dari luas wilayahnya;

15. Kecamatan Tarik

Kerentanan banjir di wilayah Kecamatan Tarik tersebar secara merata, yaitu 43% berkerentanan sedang, sedangkan 45% wilayahnya berkategori rentan;

16. Kecamatan Tulangan

Kecamatan Tulangan mempunyai prosentase kerentanan banjir yang merata, yaitu 45% berkategori kerentanan sedang, sedangkan 45% wilayahnya berkategori rentan;

17. Kecamatan Waru

Kecamatan Waru termasuk kecamatan yang mempunyai prosentase kerentanan banjir paling tinggi setelah Kecamatan Taman di Kabupaten Sidoarjo, yaitu meliputi masing-masing 32% berkategori sangat rentan sekali dan sangat rentan, dan 22% luas wilayahnya berkategori rentan;

18. Kecamatan Wonoayu

Kerentanan banjir di wilayah Kecamatan Wonoayu tersebar secara merata, yaitu 46% berkategori rentan, sedangkan 44% luas wilayahnya termasuk kategori kerentanan sedang.

Tabel 4.26. Kerentanan Banjir per Kecamatan di Kabupaten Sidoarjo

No	Kecamatan	Kerentanan	Luas (m ²)
1	Balongbendo	Rentan	36.515.263,99
		Sangat Rentan	7.484.317,14
		Sangat Rentan Sekali	1.462.748,29
		Sedang	43.232,61
		Sedikit Rentan	67.275,00
		Tidak Rentan	1.558.827,41
2	Buduran	Rentan	14.653.146,85
		Sangat Rentan	11.104.337,14
		Sangat Rentan Sekali	6.661,51
		Sangat Tidak Rentan	664.662,56
		Sedang	28.082.834,97
		Sedikit Rentan	15.542.887,93
		Tidak Rentan	1.269.658,68
3	Candi	Rentan	17.269.478,44
		Sangat Rentan	13.600.709,39
		Sangat Rentan Sekali	609.863,25
		Sangat Tidak Rentan	675.251,03
		Sedang	27.068.086,08

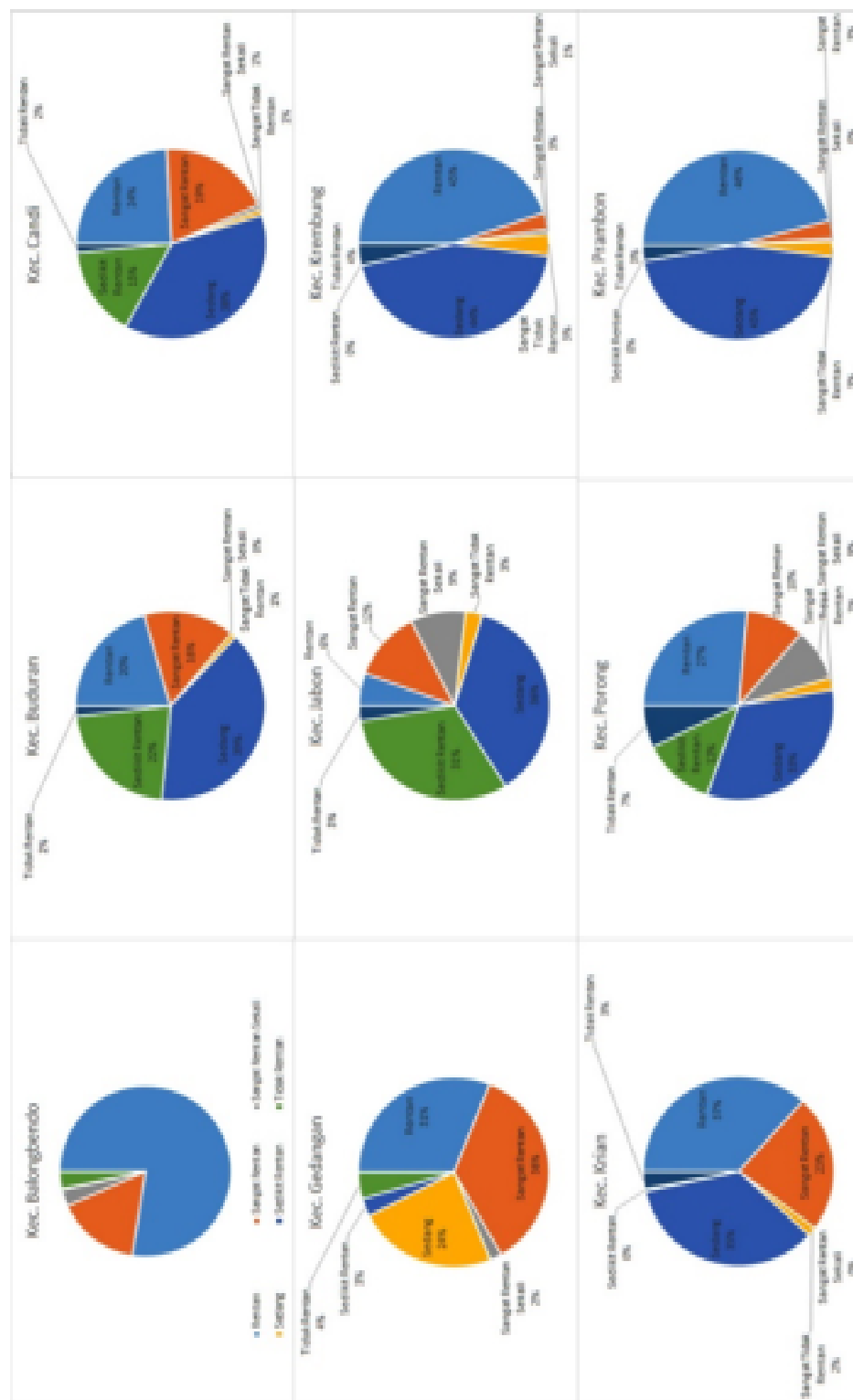
No	Kecamatan	Kerentanan	Luas (m ²)
		Sedikit Rentan	11.053.901,98
		Tidak Rentan	10.663.006,01
4	Gedangan	Rentan	12.173.897,14
		Sangat Rentan	665.805,92
		Sangat Rentan Sekali	8.104.074,90
		Sedang	1.046.966,84
		Sedikit Rentan	1.554.801,87
		Tidak Rentan	6.765.402,16
5	Jabon	Rentan	14.310.565,93
		Sangat Rentan	11.347.166,27
		Sangat Rentan Sekali	3.494.542,56
		Sangat Tidak Rentan	43.850.005,85
		Sedang	37.871.845,45
		Sedikit Rentan	3.094.031,65
		Tidak Rentan	24.586.028,13
6	Krembung	Rentan	1.560.673,00
		Sangat Rentan	437.142,86
		Sangat Rentan Sekali	2.000.524,02
		Sangat Tidak Rentan	24.340.855,34
		Sedang	32.593,42
		Sedikit Rentan	2.000.677,25
		Tidak Rentan	15.168.491,49
7	Krian	Rentan	9.622.522,07
		Sangat Rentan	6.240,96
		Sangat Rentan Sekali	616.259,44
		Sangat Tidak Rentan	14.361.821,15
		Sedang	164.421,72
		Sedikit Rentan	1.233.932,33
		Tidak Rentan	16.125.984,03
8	Porong	Rentan	6.085.450,17
		Sangat Rentan	5.413.051,11
		Sangat Rentan Sekali	1.275.966,97
		Sangat Tidak Rentan	20.154.055,85
		Sedang	7.568.387,94
		Sedikit Rentan	4.381.396,38
		Tidak Rentan	10.663.006,01
9	Prambon	Rentan	26.753.310,04
		Sangat Rentan	1.804.194,66
		Sangat Rentan Sekali	289.531,17
		Sangat Tidak Rentan	1.498.060,75
		Sedang	26.459.976,60
		Sedikit Rentan	40.868,15
		Tidak Rentan	1.521.460,75
10	Sedati	Rentan	20.291.272,12

No	Kecamatan	Kerentanan	Luas (m ²)
		Sangat Rentan	7.674.251,46
		Sangat Rentan Sekali	298.043,45
		Sangat Tidak Rentan	112.973,92
		Sedang	65.577.254,27
		Sedikit Rentan	41.316.649,12
		Tidak Rentan	552.415,05
11	Sidoarjo	Rentan	18.191.335,33
		Sangat Rentan Sekali	365.931,61
		Sangat Tidak Rentan	1.306.520,61
		Sedang	32.124.850,58
		Sedikit Rentan	21.726.847,92
		Tidak Rentan	2.021.825,41
12	Sukodono	Rentan	24.542.414,88
		Sangat Rentan	7.956.086,39
		Sangat Rentan Sekali	72.060,11
		Sangat Tidak Rentan	263.201,21
		Sedang	24.249.669,39
		Sedikit Rentan	23.582,96
		Tidak Rentan	382.431,12
13	Taman	Rentan	5.838.080,47
		Sangat Rentan	24.863.062,34
		Sangat Rentan Sekali	4.311.986,93
		Sedikit Rentan	1.549.885,41
		Tidak Rentan	2.068.353,99
14	Tanggulangin	Rentan	14.951.491,82
		Sangat Rentan	8.318.322,17
		Sangat Rentan Sekali	4.037.346,32
		Sangat Tidak Rentan	1.235.224,85
		Sedang	18.408.222,05
		Sedikit Rentan	5.821.280,30
		Tidak Rentan	2.708.902,63
15	Tarik	Rentan	34.087.521,26
		Sangat Rentan	3.292.987,74
		Sangat Rentan Sekali	5.328,93
		Sangat Tidak Rentan	3.207.712,78
		Sedang	32.323.896,80
		Sedikit Rentan	12.825,00
		Tidak Rentan	3.212.111,75
16	Tulangan	Rentan	26.806.391,75
		Sangat Rentan	4.317.087,20
		Sangat Rentan Sekali	392.404,80
		Sangat Tidak Rentan	596.138,01
		Sedang	26.385.911,44
		Sedikit Rentan	21.600,00

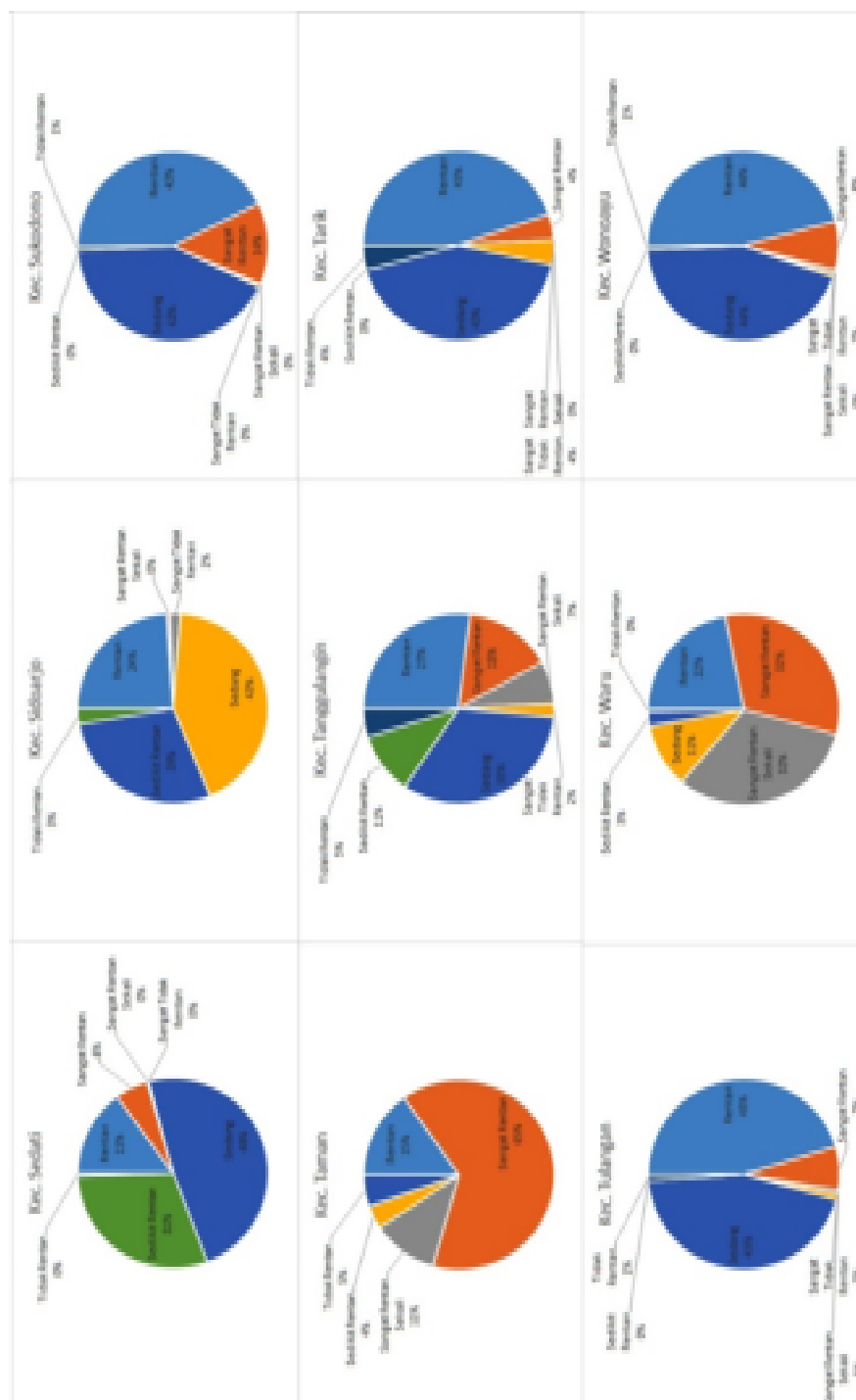
No	Kecamatan	Kerentanan	Luas (m ²)
		Tidak Rentan	603.788,01
17	Waru	Rentan	10.963.731,37
		Sangat Rentan	16.255.647,26
		Sangat Rentan Sekali	16.076.460,12
		Sedang	5.479.121,74
		Sedikit Rentan	1.284.309,32
		Tidak Rentan	127.507,31
18	Wonoayu	Rentan	26.316.728,16
		Sangat Rentan	4.682.773,00
		Sangat Rentan Sekali	355.759,35
		Sangat Tidak Rentan	356.718,05
		Sedang	25.130.727,43
		Sedikit Rentan	37.395,94
		Tidak Rentan	390.243,05
Jumlah			1.166.144.310,87

Berdasarkan analisa persebaran kerentanan banjir di Kabupaten Sidoarjo, maka terdapat beberapa kecamatan yang rentan banjir, yaitu di antaranya wilayah sangat rentan sekali berada di Kecamatan Jabon, Porong, Tanggulangin, Candi, Waru, Taman, dan Krian. Wilayah sangat rentan berada di Kecamatan Kecamatan Taman, Sidoarjo, Jabon, Candi, Buduran, Gedangan, Sedati, dan Krian, sedangkan wilayah rentan ditambah dengan Kecamatan Balongbendo.

Apabila hasil analisa kerentanan banjir di wilayah Kabupaten Sidoarjo diverifikasi dengan data kejadian banjir di Kabupaten Sidoarjo yang berasal dari data instansi BPBD Kabupaten Sidoarjo, maka akan terlihat seperti pada Tabel 4.27.



Gambar 4.43a. Prosentase kerentanan banjir per kecamatan di Kabupaten Sidoarjo



Gambar 4.43b. Prosentase kerentanan banjir per kecamatan di Kabupaten Sidoarjo

Tabel 4.27. Kejadian Banjir dan Korelasi dengan Analisa Kerentanan Banjir di Kabupaten Sidoarjo

Kejadian Banjir		Analisa Kerentanan Banjir		
Tahun 2016	Tahun 2017	Rentan	Sangat Rentan	Sangat Rentan Sekali
Balongsendo	Balongsendo	Balongsendo	-	-
Buduran	Buduran	-	Buduran	-
Candi	Candi	-	Candi	Candi
Gedangan	Gedangan	-	Gedangan	-
-	Jabon	-	Jabon	Jabon
Krian	Krian	Krian	Krian	Krian
Porong	Porong	-	-	Porong
-	Prambon	-	-	-
Sedati	Sedati	Sedati	Sedati	-
Sidoarjo	Sidoarjo	-	Sidoarjo	-
Sukodono	Sukodono	-	-	-
Taman	Taman	-	Taman	Taman
Tanggulangun	Tanggulangun	-	-	Tanggulangun
-	Tulangan	-	-	-
Waru	Waru	-	-	Waru
Wonoayu	Wonoayu	Wonoayu	-	-

Berdasarkan Tabel 4.27 di atas, terlihat bahwa sebagian besar wilayah prediksi sudah sama dengan daerah yang sebelumnya sering terjadi banjir, yaitu untuk data kejadian banjir tahun 2016 dan 2017.

4.3. Prediksi Banjir di Wilayah Kabupaten Sidoarjo

Untuk melakukan prediksi kerentanan banjir periode 25 tahun ke depan, yaitu tahun 2042, dilakukan dengan menggunakan parameter yang sama dengan ketika menyusun analisis kerentanan banjir, yaitu dengan menggunakan 7 (tujuh) parameter, di antaranya tutupan lahan, curah hujan, densitas drainase, kelerengan, penurunan muka tanah, pasang surut, dan kenaikan muka air laut. Di antara ke tujuh parameter tersebut terdapat beberapa parameter yang sama nilainya dengan ketika melakukan analisis kerentanan, tetapi ada juga parameter yang dilakukan prediksi dengan memodelkan untuk beberapa masa mendatang, seperti sebagai berikut:

1. Parameter tetap, yaitu:

a. Curah hujan

Untuk curah hujan, untuk menganalisa prediksi, curah hujan dianggap menjadi parameter tetap, tidak bertambah (*non-increasing*). Adapun yang

dipakai adalah curah hujan tertinggi, untuk menganalisa kondisi paling ekstrim;

b. Densitas drainase

Untuk densitas drainase tidak mengalami penambahan, dan merupakan variabel tetap;

c. Kelerengan

Kelerengan pada analisa prediksi merupakan variabel tetap dan tidak bertambah;

d. Pasang surut

Pasang surut pada analisa prediksi juga merupakan variabel tetap, dan tidak mengalami penambahan maupun faktor pengali;

2. Parameter bertambah (*increasing parameter*), yaitu:

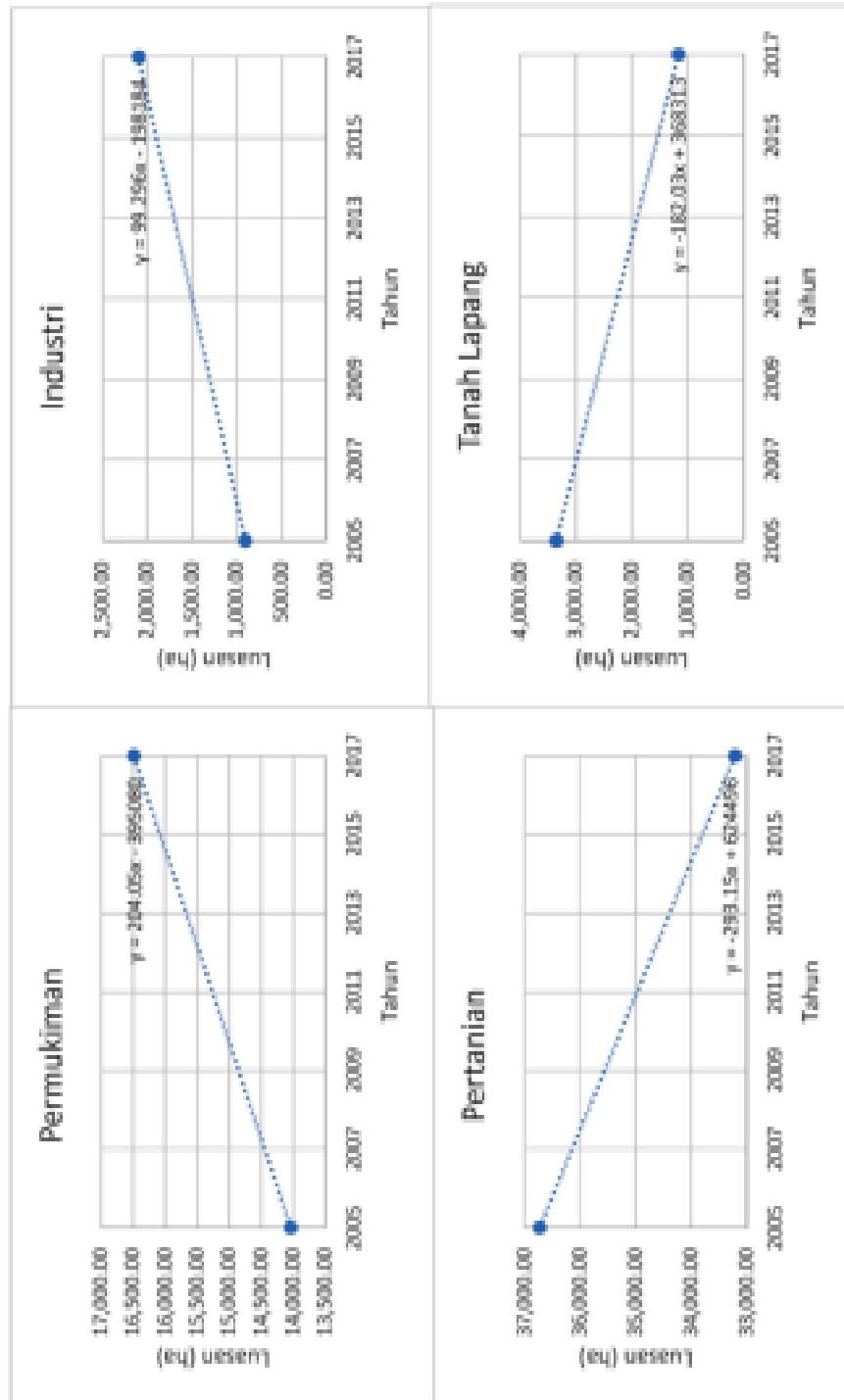
a. Tutupan lahan

Tutupan lahan termasuk parameter bertambah, sehingga untuk menganalisa prediksi kerentanan pada masa tertentu, digunakan formulasi yang merupakan tren dari perubahan perubahan tutupan lahan pada periode sebelumnya pada masa tertentu pula.

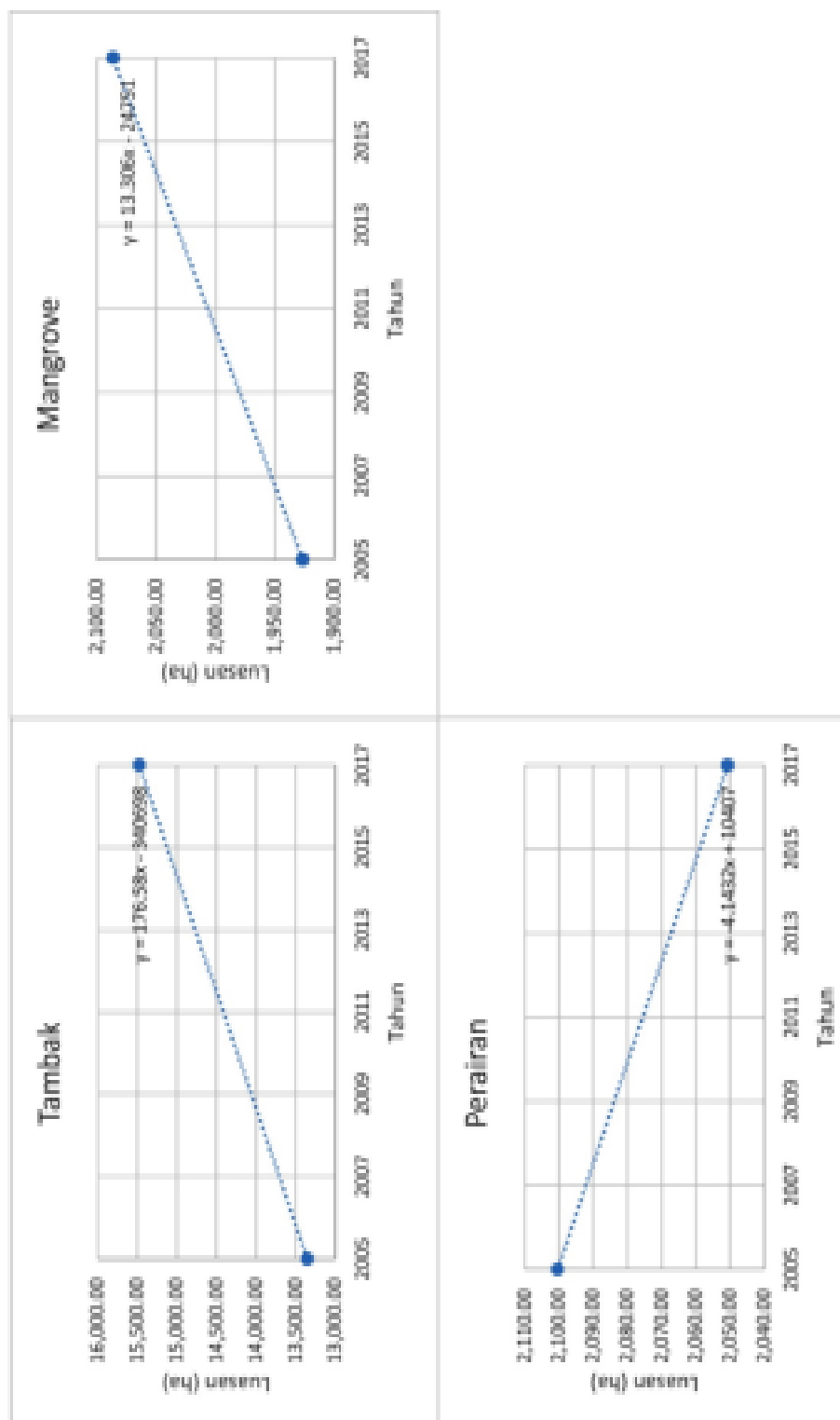
Untuk tutupan lahan, bisa dilihat perbedaan antara tahun 2005 dengan tahun 2017 seperti pada tabel berikut ini

Tabel 4.28. Perbandingan Tutupan Lahan Tahun 2005 dan 2017

Jenis Tutupan Lahan	Luas Tahun 2005 (Ha)	Luas Tahun 2017 (Ha)
Industri	904.26	2,095.81
Mangrove	1,926.77	2,086.44
Perairan	2,100.40	2,050.68
Permukiman	14,039.55	16,488.15
Pertanian	36,727.98	33,210.17
Tambak	13,354.56	15,473.58
Tanah Lapang	3,351.58	1,167.27



Gambar 4.44a. Grafik *Trendline* Perubahan Tutupan Lahan Kabupaten Sidoarjo Tahun 2005-2017



Gambar 4.44b. Grafik *Trendline* Perubahan Tutupan Lahan Kabupaten Sidoarjo Tahun 2005-2017

b. Penurunan muka tanah

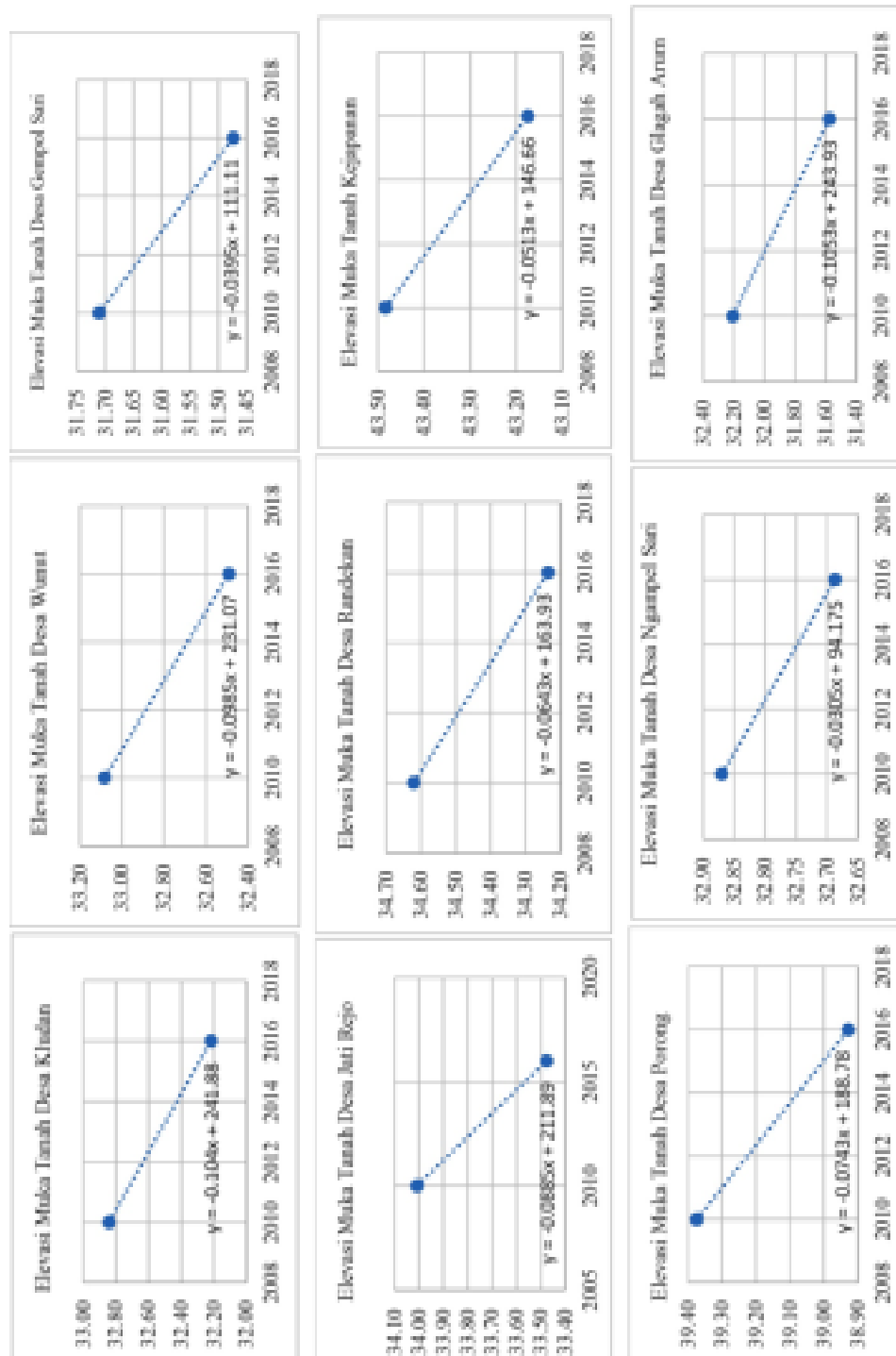
Prediksi parameter penurunan muka tanah dilakukan dengan menghitung besaran perubahan muka tanah per tahun dan kemudian diproyeksikan berdasarkan jumlah periode yang akan diprediksi, seperti 20 tahun ke depan maupun 25 tahun ke depan;

Trendline kecenderungan penurunan muka tanah di Kabupaten Sidoarjo selengkapnya bisa dilihat pada Tabel 4.30 dan 4.31.

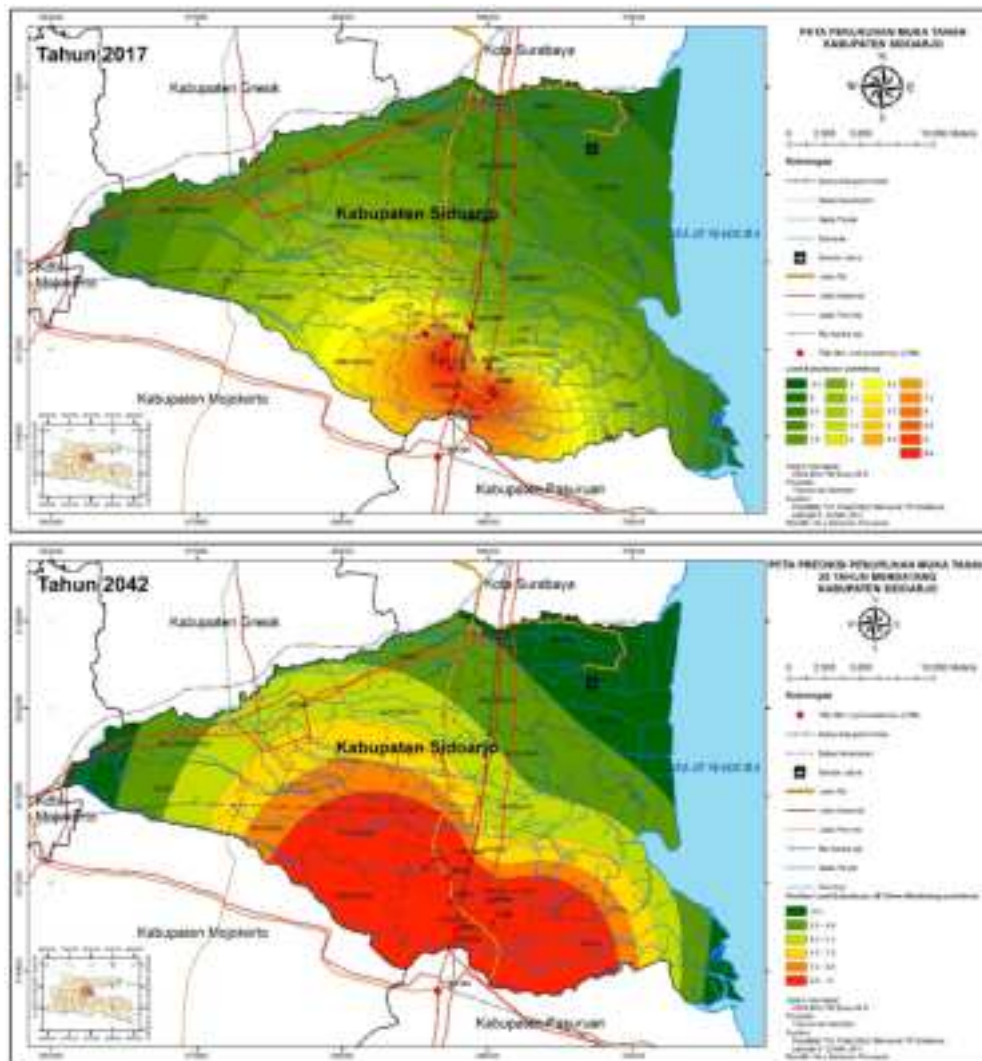
Sebagai perbandingan, secara spasial bisa dilihat perbandingan penurunan muka tanah pada saat ini dengan penurunan muka tanah 25 tahun mendatang seperti terlihat pada Gambar 4.46.

Tabel 4.29. Prediksi Penurunan Muka Tanah Kabupaten Sidoarjo Menggunakan Trendline Formula

Nama Desa	Hasil Pengukuran Lapangan (Baryanto dkk., 2016)				Prediksi menggunakan persamaan garis regresi linear			
	Elevasi Tahun 2010 (m)	Elevasi Tahun 2006 (m)	Penurunan Tanah (m/dm)	Penurunan Tanah (m/dm)	Trendline Formula	Elevasi Tahun 2017 (m)	Elevasi Tahun 2042 (m)	Penurunan Tanah 2017-2042 (m/dm)
Desa Klodan	32,842	32,208	0,624	0,004	$Y = -0,00400X + 241,88$	32,11	28,51	2,600
Desa Wunut	33,862	32,481	0,991	0,009	$Y = -0,00900X + 231,87$	32,48	28,93	2,463
Desa Gempol Sari	31,711	31,474	0,237	0,009	$Y = -0,00900X + 111,11$	31,44	30,45	0,988
Desa Jati Rejo	34,808	33,477	0,531	0,009	$Y = -0,00900X + 211,89$	33,39	31,17	2,213
Desa Rambutan	34,621	34,235	0,386	0,004	$Y = -0,00400X + 163,93$	34,24	32,63	1,608
Kecamatan	43,463	43,175	0,308	0,003	$Y = -0,00100X + 146,66$	43,19	40,91	2,283
Desa Pocong	38,374	38,928	0,446	0,004	$Y = -0,00400X + 188,78$	38,92	37,86	1,058
Desa Ngampel Sari	32,878	32,687	0,183	0,003	$Y = -0,00300X + 94,73$	32,66	31,89	0,763
Desa Glagah Anom	32,207	31,575	0,632	0,006	$Y = -0,00600X + 243,93$	31,54	28,91	2,632



Gambar 4.45. Grafik Trendline Penurunan Muka Tanah Kabupaten Sidoarjo



Gambar 4.46. Perbandingan penurunan muka tanah tahun 2017 dan tahun 2042
c. kenaikan muka air laut.

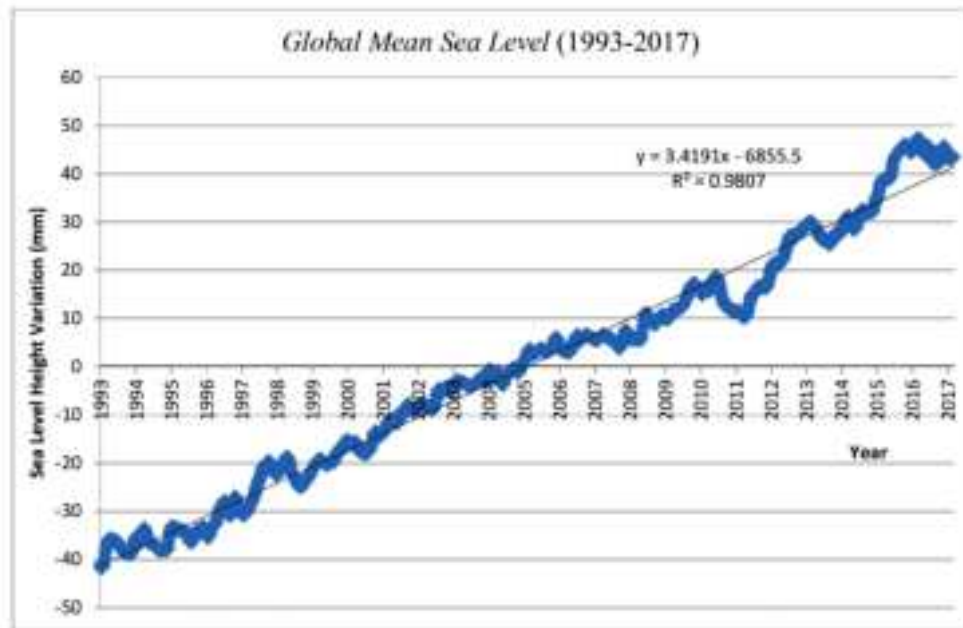
Prediksi parameter muka air laut juga dilakukan dengan menghitung besaran perubahan kenaikan muka air laut per tahun berdasarkan pengamatan *long term observation*. Kemudian, besaraan kenaikan per tahun diproyeksikan sesuai besaran masa yang akan dihitung maupun diprediksi.

Untuk kenaikan muka air laut bisa dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 4.30. Kenaikan Muka Air Laut Global Tahun 1993-2017

Tahun	1993-2017 Tinggi Muka Air Laut (mm)	1993-2017 Perubahan (mm)	1993-2017 Tinggi Muka Air Laut (mm) $y = 3.416x - 6633$	1993-2017 Perubahan (mm)
1993	132,58		-61,93	
1994	133,43	1,34	-61,31	1,42
1995	134,29	2,12	-60,10	3,43
1996	135,15	2,68	-58,48	3,43
1997	136,00	3,04	-57,26	3,43
1998	136,86	3,50	-55,84	3,43
1999	137,72	3,97	-54,42	3,43
2000	138,58	4,33	-52,80	3,43
2001	139,44	4,70	-51,18	3,43
2002	140,30	5,06	-49,16	3,43
2003	141,16	5,43	-47,54	3,43
2004	142,02	5,79	-45,92	3,43
2005	142,88	6,15	-44,30	3,43
2006	143,74	6,52	-42,68	3,43
2007	144,60	6,88	-41,06	3,43
2008	145,46	7,24	-39,44	3,43
2009	146,32	7,61	-37,82	3,43
2010	147,18	7,97	-36,20	3,43
2011	148,04	8,34	-34,58	3,43
2012	148,90	8,70	-32,96	3,43
2013	149,76	9,06	-31,34	3,43
2014	150,62	9,43	-29,72	3,43
2015	151,48	9,79	-28,10	3,43
2016	152,34	10,15	-26,48	3,43
2017	153,20	10,52	-24,86	3,43
Jumlah	153,20	10,52	-24,86	3,43

Sumber: <https://www.noaa.gov/data/sea-level-rise/sea-level-rise-tables>



Gambar 4.47. Global Mean Sea Level Variation dari tahun 1993-2017
(Sumber data: AVISO, 2017)

Penghitungan indeks prediksi kerentanan 25 tahun mendatang masih sama dengan indeks kerentanan, karena masing-masing parameternya sudah dihitung perubahan prediksi sesuai dengan analisa proyeksi untuk 25 tahun mendatang. Sehingga, bisa dilihat dilihat pada Gambar 4.49. Berdasarkan peta prediksi kerentanan banjir Kabupaten Sidoarjo tersebut, bisa ditung luasan kerentanannya, seperti terlihat pada Tabel 4.28.

$$\begin{aligned} \text{Indeks Prediksi Kerentanan Banjir} = & (0,35 \times \text{TL}) + (0,238 \times \text{CH}) + (0,159 \times \text{DD}) \\ & + (0,105 \times \text{K}) + (0,07 \times \text{PMT}) + (0,046 \times \text{PS}) \\ & + (0,032 \times \text{KMAL}) \end{aligned}$$

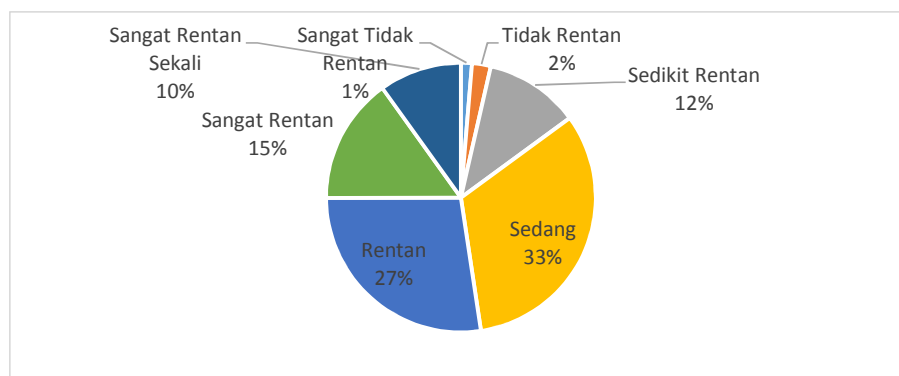
Sehingga setelah dilakukan penghitungan indeks masing parameter dan dimasukkan formuasinya, kemudian dioverlay, bisa dilakukan klasifikasi dengan rentang klasifikasi yang masih sama dengan klasifikasi ketika menganalisa kerentanan.

Adapun hasil penghitungan indeks prediksi kerentanan setelah dilakukan klasifikasi, seperti terlihat pada Gambar 4.49.

Tabel 4.31. Luasan Prediksi Kerentanan Banjir Kabupaten Sidoarjo Tahun 2042

Kerentanan	Luas (m ²)	Prosentase (%)
Sangat Tidak Rentan	17.811.731,50	1,31
Tidak Rentan	30.675.446,50	2,26
Sedikit Rentan	154.428.979,17	11,37
Sedang	443.871.965,24	32,68
Rentan	371.596.037,08	27,36
Sangat Rentan	205.485.910,51	15,13
Sangat Rentan Sekali	134.493.216,98	9,9
Jumlah	1.358.363.286,98	100

Adapun prosentase kerentanan banjir di Kabupaten Sidoarjo bisa dilihat pada Gambar 4.48.



Gambar 4.48. Prosentase luasan prediksi kerentanan banjir Kabupaten Sidoarjo tahun 2042

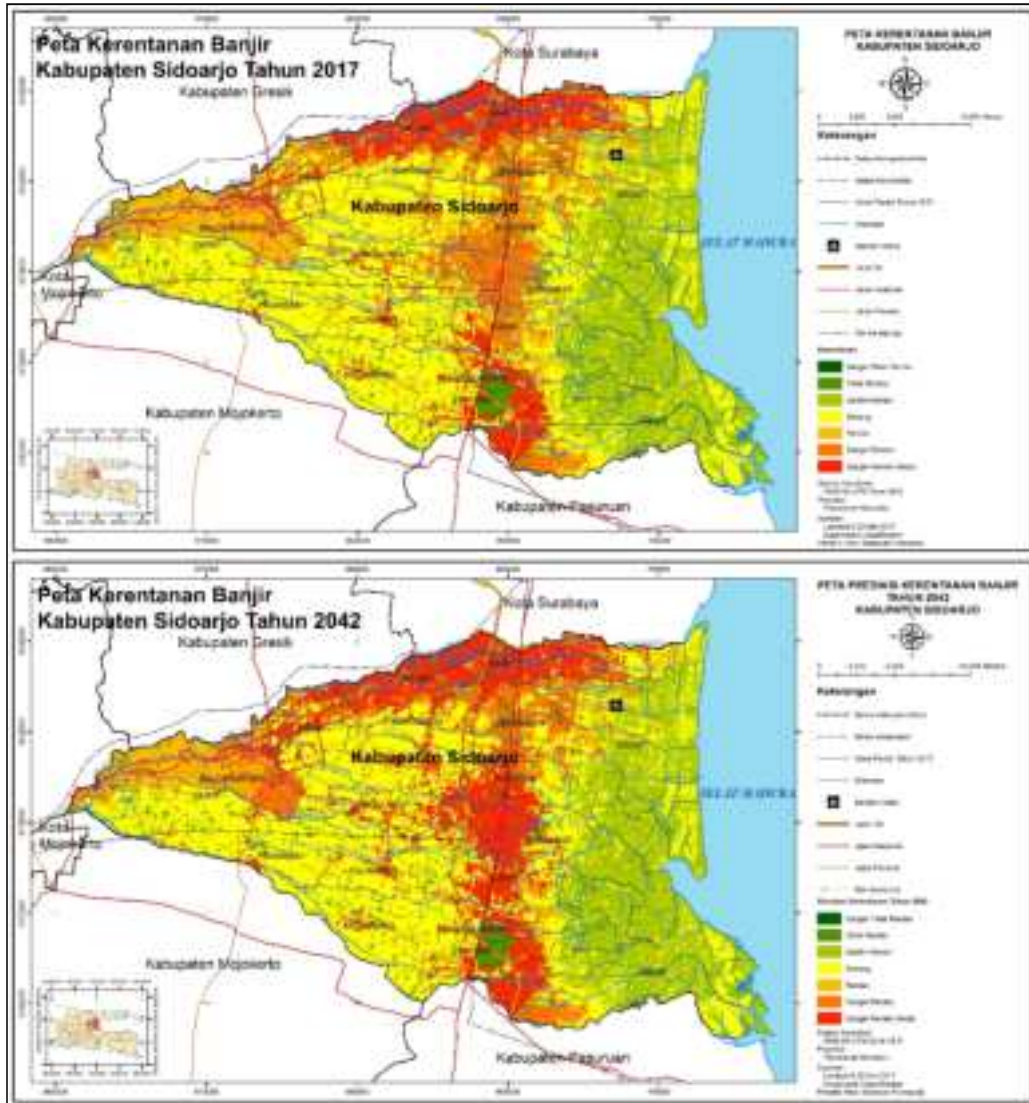
Apabila kerentanan banjir tahun 2017 dibandingkan dengan prediksi kerentanan banjir pada tahun 2042, maka kategori kerentanannya terjadi perubahan sangat signifikan, seperti sebagai berikut:

1. Sangat rentan sekali bertambah luasannya sebesar 60.942.134,00 m²;
2. Sangat rentan bertambah luasannya sebesar 30.524.550,57 m²;
3. Rentan bertambah luasannya sebesar 14.436.824,67 m²;
4. Sedang bertambah luasannya sebesar 19.574.976,79 m²;
5. Sedikit rentan bertambah luasannya sebesar 6.182.184,39 m²;
6. Tidak rentan bertambah luasannya sebesar 912.509,32 m²;
7. Sangat tidak rentan berkurang tidak signifikan, yaitu seluas 0,01 m².

Sehingga, bisa disimpulkan terjadi kenaikan kerentanan banjir secara signifikan di Kabupaten Sidoarjo pada 25 tahun mendatang.

Tabel 4.32. Perbandingan Luasan Wilayah Rentan Banjir Tahun 2017 dan 2042

Kerentanan	Luas Th 2017 (m²)	Luas Th 2042 (m²)	Perubahan (m²)
Sangat Tidak Rentan	17.811.731,51	17.811.731,50	-0,01
Tidak Rentan	29.762.937,19	30.675.446,50	912.509,32
Sedikit Rentan	148.246.794,78	154.428.979,17	6.182.184,39
Sedang	424.296.988,45	443.871.965,24	19.574.976,79
Rentan	357.159.212,41	371.596.037,08	14.436.824,67
Sangat Rentan	174.961.359,94	205.485.910,51	30.524.550,57
Sangat Rentan Sekali	73.551.082,98	134.493.216,98	60.942.134,00
Jumlah	1.225.790.107,26	1.358.363.286,98	132.573.179,73



Gambar 4.50. Perbandingan kerentanan banjir di Kabupaten Sidoarjo tahun 2017 dengan tahun 2042

BAB 5

KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Penelitian tentang analisis kerentanan banjir di Kabupaten Sidoarjo ini bisa ditarik beberapa kesimpulan seperti sebagai berikut:

1. Untuk memetakan sebaran daerah rentan banjir di Kabupaten Sidoarjo, dibuatlah analisis dengan menggunakan 7 (tujuh) parameter penyebab banjir, yaitu tutupan lahan (*land cover*), curah hujan (*rainfall*), densitas drainase (*drainage density*), kelerengan (*slope*), penurunan muka tanah (*land subsidence*), pasang surut (*tide*), dan kenaikan muka air laut (*sea level rise*). Parameter penyebab banjir paling dominan di Kabupaten Sidoarjo adalah perubahan tutupan lahan, curah hujan, dan densitas drainase, sementara faktor lain yang ikut menyebabkan kerentanan banjir pada masa mendatang adalah penurunan muka tanah, kelerengan, pasang surut dan kenaikan muka air laut.
2. Sebagian wilayah Kabupaten Sidoarjo merupakan daerah rentan banjir, yaitu sebesar 49,41% dari luas wilayahnya atau seluas 605.671.655 m². Wilayah rentan banjir di Kabupaten Sidoarjo di antaranya meliputi Kecamatan Jabon, Porong, Taman, dan Kecamatan Waru;
3. Berdasarkan prediksi, 25 tahun mendatang luasan daerah rentan banjir meningkat secara signifikan luasannya sebesar 8,64% atau seluas 105.903.509m², dengan perincian wilayah sangat rentan sekali bertambah 4,97% atau seluas 60.942.134 m², wilayah sangat rentan bertambah 2,49% atau seluas 30.524.550 m², dan wilayah rentan bertambah 1,18% atau seluas 14.436.824 m².

5.2. Saran

Untuk penyempurnaan prediksi banjir di Kabupaten Sidoarjo pada masa mendatang, disarankan untuk melakukan *ground check* secara simultan pada setiap periode banjir. Selain itu, diperlukan citra satelit resolusi tinggi untuk lebih mendapatkan hasil lebih detail tutupan lahan. Diperlukan juga *DEM* resolusi tinggi

untuk lebih mengetahui *watershed* guna memperoleh densitas drainase dengan hasil lebih akurat. Untuk prediksi dan mitigasi pada masa mendatang, juga perlu dilakukan pengukuran elevasi tanah secara periodik di seluruh wilayah Kabupaten Sidoarjo, terutama daerah yang merupakan wilayah rentan banjir.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H.Z., Djaja, R., Darmawan, D., Hadi, S., Akbar, A., Rajiyowiryo, H., Sudibyo, Y., Meilano, I., Kasuma, M.S., Kahar, J. dan Subarya, C. (2001), "*Land Subsidence of Jakarta (Indonesia) and its Geodetic Monitoring System*". Natural Hazards: Journal of the International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards, Vol. 23, Issue 2, hal. 365-387
- Abidin, H. Z., Andreas, H., Gumilar, I. dan Wibowo, I.R.R. (2015), "*On Correlation between Urban Development, Land Subsidence and Flooding Phenomena in Jakarta*". The 26th General Assembly of IUGG, Prague, 22 June-2 July. Session of HS01 Changes in Flood Risk and Perception in Catchments and Cities.
- Abidin, H. Z., Andreas, H., Gumilar, I., Sidiq, T.P. dan Gamal, M. (2015), "*Environmental Impacts of Land Subsidence in Urban Areas of Indonesia*". FIG Working Week 2015, Sofia Bulgaria.
- Anderson, J. R., Hardy, E.E., Roach, J.T., dan Witmer, R.E. (1976), "*A Land Use and Land Cover Classification System for Use With Remote Sensor Data*". Geological Survey Professional Paper 964. United States Government Printing Office, Washington.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana (2016), "Data dan Informasi bencana Indonesia". Available at: <http://dibi.bnpb.go.id/data-bencana>. Accessed at 17 November 2016.
- Balai Besar Wilayah Sungai Brantas (2011), "Lima Pilar BBWS Brantas", Surabaya, Indonesia.
- Berita Jatim (2016), "Ini Wilayah Sidoarjo yang Diterjang Banjir Setinggi Lutut". Diakses pada 3 Maret 2017 dari:
http://beritajatim.com/peristiwa/279224/ini_wilayah_sidoarjo_yang_diterjang_banjir_setinggi_lutut.html
- Bhushan, Navneet; and Rai, Kanwal. (2004). "*Strategic Decision Making: Applying the Analytic Hierarchy Process*". Ed. IX, hal. 11-21.

- Bioresita, Filsa; and Taufik. (2013). "Analisa Potensi Genangan Berdasarkan Data Curah Hujan Global *TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission)* (Studi Kasus: Kabupaten Sampang)". *Journal of Geodesy and Geomatics*, Vol 8, No 2, hal. 187-197.
- BMKG (2010). "Kondisi Cuaca Ekstrem dan Iklim Tahun 2010-2011". Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. (BMKG). <http://data.bmkg.go.id/Share/Dokumen/press%20release%20kondisi%20cuaca%20ekstrem%20dan%20iklim%20tahun%202010-2011.pdf>
- Bunruamkaew, Khwanruthai. (2012). "*How to do AHP analysis in Excel*". *Division of Spatial Information Science, University of Tsukuba*. <http://giswin.geo.tsukuba.ac.jp/sis/tutorial/How%20to%20do%20AHP%20analysis%20in%20Excel.pdf>.
- Cabala, Pawel. (2010). "*Using The Analytic Hierarchy Process In Evaluating Decision Alternatives*". *Operations Research Decisions*, No. 1, hal. 5-23.
- Elkhrachy, Ismail. (2015), "*Flash Flood Hazard Mapping Using Satellite Images and GIS Tools: A Case Study of Najran City, Kingdom of Saudi Arabia (KSA)*". *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*. Vol. 18, hal. 261-278.
- Emery, W. J., dan R. E. Thomson. 2001. *Data Analysis Methods in Physical Oceanography*. Second and Revised Edition, Elsevier.
- Falatehan, A. Faroby. (2016). "*Analytical Hierarchy Process (AHP): Teknik Pengambilan Keputusan untuk Pembangunan Daerah*". Yogyakarta: Indomedia Pustaka.
- Farida, H., M. Taufik, dan B.M. Sukojo, 2005. "Analisis Genangan Air Hujan Di Kawasan Delta Dengan Menggunakan Penginderaan Jauh dan SIG". *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan MAPIN XIV*, Surabaya.
- Geokov, 2017. "*Slope Calculation from Contour Lines in a Topographic Map*". Diakses pada 1 Maret 2017 dari: geokov.com/education/slope-gradient-topographic.aspx
- Gornitz, V. (1991), "*Global Coastal Hazards from Future Sea Level Rise*". *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology (Global dan Planetary*

- Change Section*), Vol. 89, hal. 379–398. Elsevier Science Publisher B, V. Amsterdam.
- Gross, M. (1990), *“Oceanography sixth edition”*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Hamdani, H., Permana, S., Susetyaningsih, A. (2014), “Analisa Daerah Rawan Banjir Menggunakan Aplikasi Sistem Informasi Geografi (Studi Kasus Pulau Bangka)”. *Jurnal Konstruksi*, Vol. 12, No. 1, hal. 1-13.
- Haryanto, T., C. B. Pribadi, U. W. Defiantari, H. Hidayat, A. Kurniawan, M. Yufania, A. Basofi dan M. Hamza. 2016. *“Kajian Penurunan Tanah Di Kawasan Tanggulangin Dan Sekitarnya Kabupaten Sidoarjo (Kelurahan Kalidawir, Kelurahan Banjarasri, dan Kelurahan Kedungbanteng)”*. Pusat Studi Kebencanaan Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Haynes, R.H. (1998). *The Canadian System of Soil Classification, 3rd ed.; NRC Research Press*: Ottawa, ON, Canada.
- Hidayati, Nurin. (2017). *Dinamika Pantai*. UB Press, Malang.
- Indarto. (2014), *Teori dan Praktek Penginderaan Jauh*. Penerbit Andi. Yogyakarta
- Isfandiari, A. (2012), “Potensi Dampak Kerusakan Akibat Kenaikan Muka Air Laut di Wilayah Pesisir Kabupaten Indramayu tahun 2030”. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Kingma N. C. 1991. *Natural Hazard: Geomorphological Aspect of Floodhazard*. ITC, The Netherlands.
- Kodoatie Robert J. dan Sugiyanto. (2002), *Banjir: Beberapa Penyebab dan Metode Pengendaliannya Dalam Perspektif Lingkungan*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Komputer, Wahana. (2017). *“Mengolah Cata Citra Satelit Menggunakan ENVI”*. Penerbit Andi. Yogyakarta.
- Kumar, T. S. (2010), “*Coastal Vulnerability Assessment for Orissa State, East Coast of India*”. *Journal of Coastal Research*, Vol. 26, No. 3, hal. 523–534.
- Marinoni, Oswald. (2004), *“Implementation of the analytical hierarchy process with VBA in ArcGIS”*. *Computers & Geosciences*, Vol. 30, hal. 637–646.
- Maryland Government’s GIS Training. *“How to Generate Contours in ArcGIS for Desktop”*. Maryland iMap: Maryland Mapping and GIS Data Portal.

http://imap.maryland.gov/Documents/Training/LiDAR_Mod5_GeneratingContours.pdf.

- Murdohardono, D., dan U. Sudarsono. (1998). "Land subsidence monitoring system in Jakarta." Proceedings of Symposium on Japan-Indonesia IDNDR Project : Volcanology, Tectonics, Flood and Sediment Hazards, Bandung, 21-23 September, pp. 243 - 256.
- Pemerintah Kabupaten Sidoarjo. (2016), "Profil Kabupaten Sidoarjo". Available at http://www.sidoarjo.kab.go.id/index.php?p=layanan&p2=profil_kabupaten. Accessed in 17 November 2016.
- Puturuhu, F. (2015), Mitigasi Bencana dan Penginderaan Jauh. Graha Ilmu Yogyakarta, Yogyakarta.
- Rimba, Andi Besse; Setiawati, Martiwi Diah; Sambah, Abu Bakar; and Miura, Fusanori. (2017). *"Physical Flood Vulnerability Mapping Applying Geospatial Techniques in Okazaki City, Aichi Prefecture, Japan"*. *Urban Science*. Vol. 1, No. 7, hal. 1-22.
- Saaty, Thomas L. (1977). *"A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures"*. *Journal of Mathematical Psychology*, Vol. 15, hal. 234-281.
- Saaty, Thomas L. (1990). *"How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process"*. *European Journal of Operational Research*, Vol. 48, hal. 9-26.
- Saaty, Thomas L. (2008). *"Decision making with the analytic hierarchy process"*. *International Journal of Services Sciences*, Vol. 1, No. 1, hal. 83-98.
- Saaty, W. R. (1987). *"The Analytic Hierarchy Process: What it is and how it is used"*. *Mathematical Modelling*, Vol. 9, No. 3-5, hal. 176-1987.
- Sastrodarsono, S. (2005), Pengukuran Topografi dan Teknik Pemetaan. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Soekardi, P. (1986), *"Geological Aspect of The Aquifer System and The Groundwater Situation of The Jakarta Artesian Basin"*. Paper Presented at Seminar on Geological Mapping in The Urban Development, Economic and Social Commission for Asia and The Pasific, Bangkok.
- Samarasinghe, S.M.J.S., Nandalal, H.K., Weliwitiya, D.P., Fowze, J.S.M., Hazarika, M.K., Samarakoon, L. (2010), *"Application of Remote Sensing and GIS for Flood Risk Analysis: A Case Study at Kalu-Ganga River, Sri*

- Lanka*”, *International Archive of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, Vol. 38, No. 8, hal. 110-115.
- Sayogo, S.S., Wiwoho, S., Hardaningrum, F. (2009), “Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis untuk Menganalisis Genangan Air Hujan”, *Neutron*, Vol. 9, No. 2, hal. 43-56.
- Soenarmo, S. H. (2009), *Penginderaan Jauh dan Pengenalan Sistem Informasi Geografis untuk Bidang Ilmu Kebumihan. 1st ed.* Penerbit ITB Bandung, Bandung.
- Sukojo, B. M. (2012), *Penginderaan Jauh (Dasar Teori dan Terapan). 1st ed.* ITS Press Surabaya, Surabaya.
- Triantaphyllou, Evangelos; and Mann, Stuart H. (1995). *"Using The Analytic Hierarchy Process For Decision Making In Engineering Applications: Some Challenges". International Journal of Industrial Engineering: Applications and Practice*, Vol. 2, No. 1, hal. 35-44.
- Udani, P.M., Mathur, D.K. (2016), “*Flood Hazard Vulnerability Mapping using Remote Sensing and GIS: A Case Study Along the Villages of Anand Taluka*”, *Advances in Applied Science Research*, Vol. 7, No. 3, hal. 214-221.
- Uddin, K., Gurung, D.R., Giriraj, A., Shreshta, B. (2013), “*Application of Remote Sensing and GIS for Flood Hazard Management: A Case Study from Sindh Province, Pakistan*”, *American Journal of Geographic Information System*, Vol. 2, No. 1, hal. 1-5.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi foto-foto kejadian banjir di wilayah Kabupaten Sidoarjo





Lampiran 2. Data curah hujan rerata tertinggi di Kabupaten Sidoarjo

Station	Longitude [°]	Latitude [°]	Curah Hujan Maksimum [mm/hari]											Curah Hujan Maksimum 2007-2017 [mm/hari]
			2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
1	112.125	-7.625	14	15	24	19	17	19	19	18	19	19	15	24
2	112.125	-7.375	14	17	22	20	16	14	21	19	22	18	14	22
3	112.125	-7.125	14	15	19	17	17	14	16	16	19	16	10	19
4	112.375	-7.625	15	15	22	20	15	14	17	17	16	20	16	22
5	112.375	-7.375	13	17	22	21	16	13	19	18	19	19	14	22
6	112.375	-7.125	13	15	19	16	16	14	16	13	18	17	11	19
7	112.625	-7.625	15	16	20	19	18	15	16	16	15	20	16	20
8	112.625	-7.375	15	17	22	21	17	13	18	17	16	19	14	22
9	112.625	-7.125	12	17	19	16	16	13	17	13	15	16	11	19
10	112.875	-7.625	13	12	16	19	14	16	15	13	13	17	17	19
11	112.875	-7.375	12	14	19	20	16	15	17	14	15	19	16	20
12	112.875	-7.125	11	15	16	14	12	12	16	11	14	14	12	16
13	113.125	-7.625	13	14	14	15	15	19	17	12	13	14	16	19
14	113.125	-7.375	11	14	16	14	13	15	15	12	15	15	14	16
15	113.125	-7.125	12	14	12	13	11	12	14	11	11	14	12	14

(Sumber: TRMM, 2017)

Lampiran 3. Data muka air laut global tahun 1993-2017

Deskripsi kolom

Kolom 1. Altimeter type 0=dual-frequency 999=single frequency (ie Poseidon-1)

Kolom 2. Merged file cycle #

Kolom 3. Year+fraction of year (mid-cycle)

Kolom 4. Number of observations

Kolom 5. Number of weighted observations

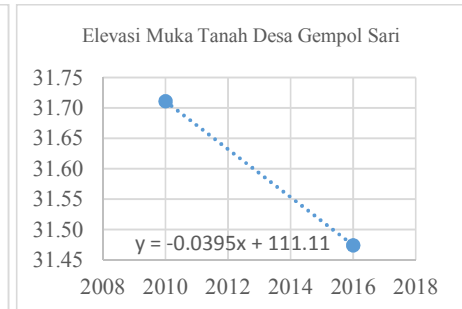
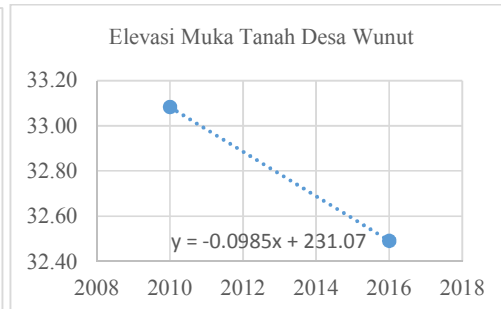
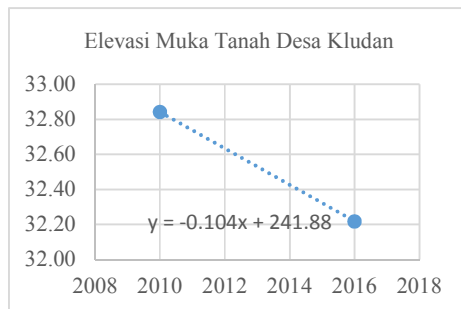
Kolom 6. Smoothed (60-day Gaussian type filter) GMSL (GIA applied) variation (mm); annual and semi-annual signal removed (Sumber: AVISO, 2017)

Altimeter type	merged file cycle	Year+ fraction of year (1)	Number of observations	Number of weighted observations	Smoothed GMSL (GIA applied) variation (mm); annual and semi-annual signal removed
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
0	11	1993,0115	466466	337280,0	-41,15
0	12	1993,0387	460890	334038,0	-41,74
0	13	1993,0659	472125	342417,8	-41,32
0	14	1993,0930	421381	306053,8	-41,23
0	15	1993,1202	459550	331095,4	-40,12
0	16	1993,1473	416487	300349,8	-38,81
0	17	1993,1746	467982	337063,6	-37,63
0	18	1993,2017	466077	335416,5	-36,72
0	19	1993,2289	461213	331526,0	-36,11
999	20	1993,2560	467274	340098,9	-35,76
0	21	1993,2832	461744	331710,0	-35,62
0	22	1993,3103	469833	338034,4	-35,68
0	23	1993,3375	467661	337538,2	-35,92
0	24	1993,3647	467936	336253,4	-36,09
0	25	1993,3918	470043	337666,8	-36,34
0	26	1993,4191	471722	339524,7	-36,15
0	27	1993,4462	468852	338300,1	-36,15
0	28	1993,4734	468773	339171,2	-36,14
0	29	1993,5005	448244	326747,6	-36,42
0	30	1993,5277	461234	336487,9	-36,88
999	31	1993,5548	258734	192560,8	-37,31
0	32	1993,5820	456886	334423	-37,59
0	33	1993,6091	424745	310700,0	-37,80
0	34	1993,6364	453729	333157,7	-38,05
0	35	1993,6636	451302	331901,7	-38,39
0	36	1993,6907	453813	333712,7	-38,66
0	37	1993,7179	411294	303014,1	-38,76

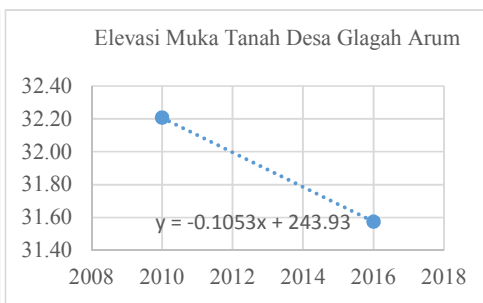
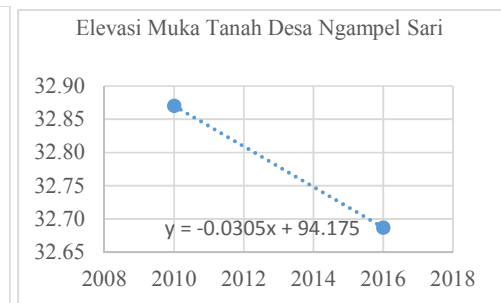
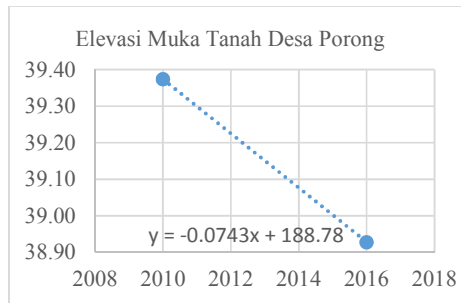
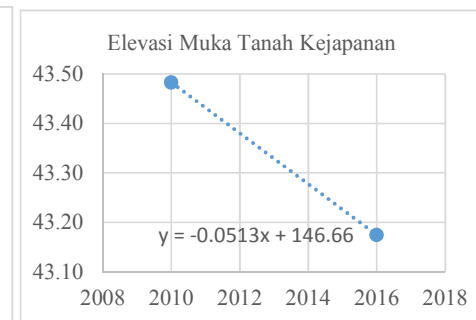
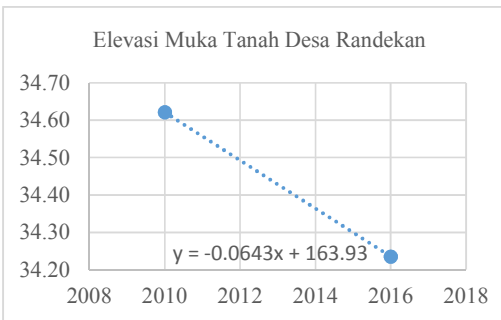
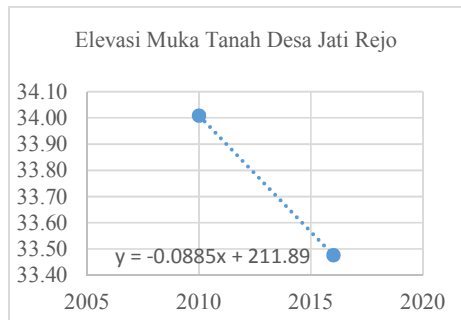
Altimeter type	merged file cycle	Year+ fraction of year (1)	Number of observations	Number of weighted observations	Smoothed GMSL (GIA applied) variation (mm); annual and semi-annual signal removed
0	38	1993,7450	455695	334983,6	-38,56
0	39	1993,7722	452877	332728,1	-38,33
0	40	1993,7993	454650	332592,4	-38,31
999	41	1993,8265	465492	345038,2	-38,63
0	42	1993,8536	463414	337651,7	-38,97
0	43	1993,8809	462117	335541,6	-38,89
0	44	1993,9080	451860	327060	-38,24
0	45	1993,9352	470802	340200,5	-37,23
0	46	1993,9623	472633	339758,0	-36,20
0	47	1993,9895	463199	333726,2	-35,89
0 8	95	2017,0100	485347	349233,2	43,78
0 8	96	2017,0371	482567	347264,3	43,26
0 8	97	2017,0643	479200	344826,3	43,03
0 8	98	2017,0914	479859	345492,7	43,05
0 8	99	2017,1187	478434	344268,5	43,18
0 9	0	2017,1458	479643	344784,5	43,33
0 9	1	2017,1730	483270	347856,0	43,50
0 9	2	2017,2001	476093	343366,6	43,68

Tabel 4.30 Prediksi Penurunan Muka Tanah Kabupaten Sidoarjo Menggunakan Persamaan Garis Regresi Linier (*Trendline Formula*)

Nama Desa	Hasil Pengukuran Lapang (Haryanto dkk., 2016)				Prediksi menggunakan persamaan garis regresi linier				
	Elevasi Tahun 2010 (m)	Elevasi Tahun 2016 (m)	Penurunan Tanah (m/6 thn)	Penurunan Tanah (m/thn)	Trendline Formula	Elevasi Tahun 2017 (m)	Elevasi Tahun 2042 (m)	Penurunan Tanah 2017- 2042 (m/25thn)	Penurunan Tanah (m/thn)
Desa Kludan	32,842	32,218	0,624	0,104	$Y = -0,1040X + 241,88$	32,11	29,51	2,600	0,104
Desa Wunut	33,082	32,491	0,591	0,099	$Y = -0,0985X + 231,07$	32,40	29,93	2,463	0,099
Desa Gempol Sari	31,711	31,474	0,237	0,039	$Y = -0,0395X + 111,11$	31,44	30,45	0,988	0,040
Desa Jati Rejo	34,008	33,477	0,531	0,089	$Y = -0,0885X + 211,89$	33,39	31,17	2,213	0,089
Desa Randekan	34,621	34,235	0,386	0,064	$Y = -0,0643X + 163,93$	34,24	32,63	1,608	0,064
Kejapanan	43,483	43,175	0,308	0,051	$Y = -0,0513X + 146,66$	43,19	41,91	1,283	0,051
Desa Porong	39,374	38,928	0,446	0,074	$Y = -0,0743X + 188,78$	38,92	37,06	1,858	0,074
Desa Ngampel Sari	32,870	32,687	0,183	0,031	$Y = -0,0305X + 94,175$	32,66	31,89	0,763	0,031
Desa Glagah Arum	32,207	31,575	0,632	0,105	$Y = -0,1053X + 243,93$	31,54	28,91	2,632	0,105



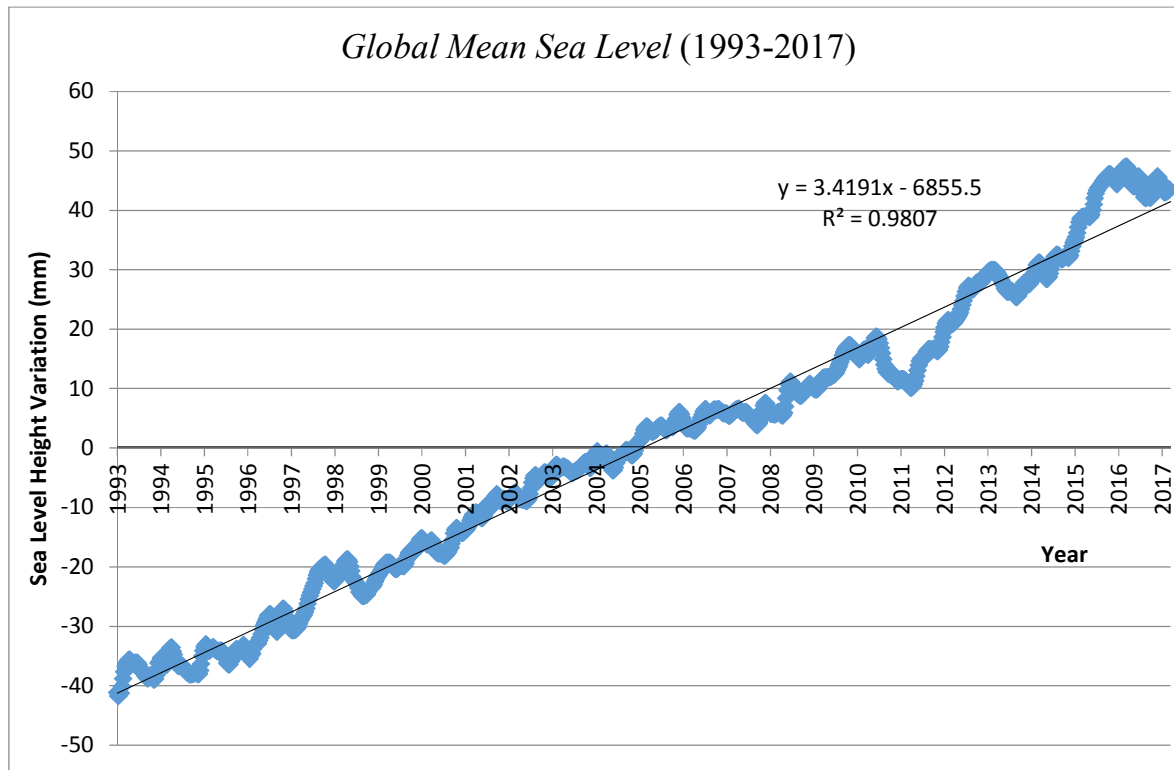
Tab



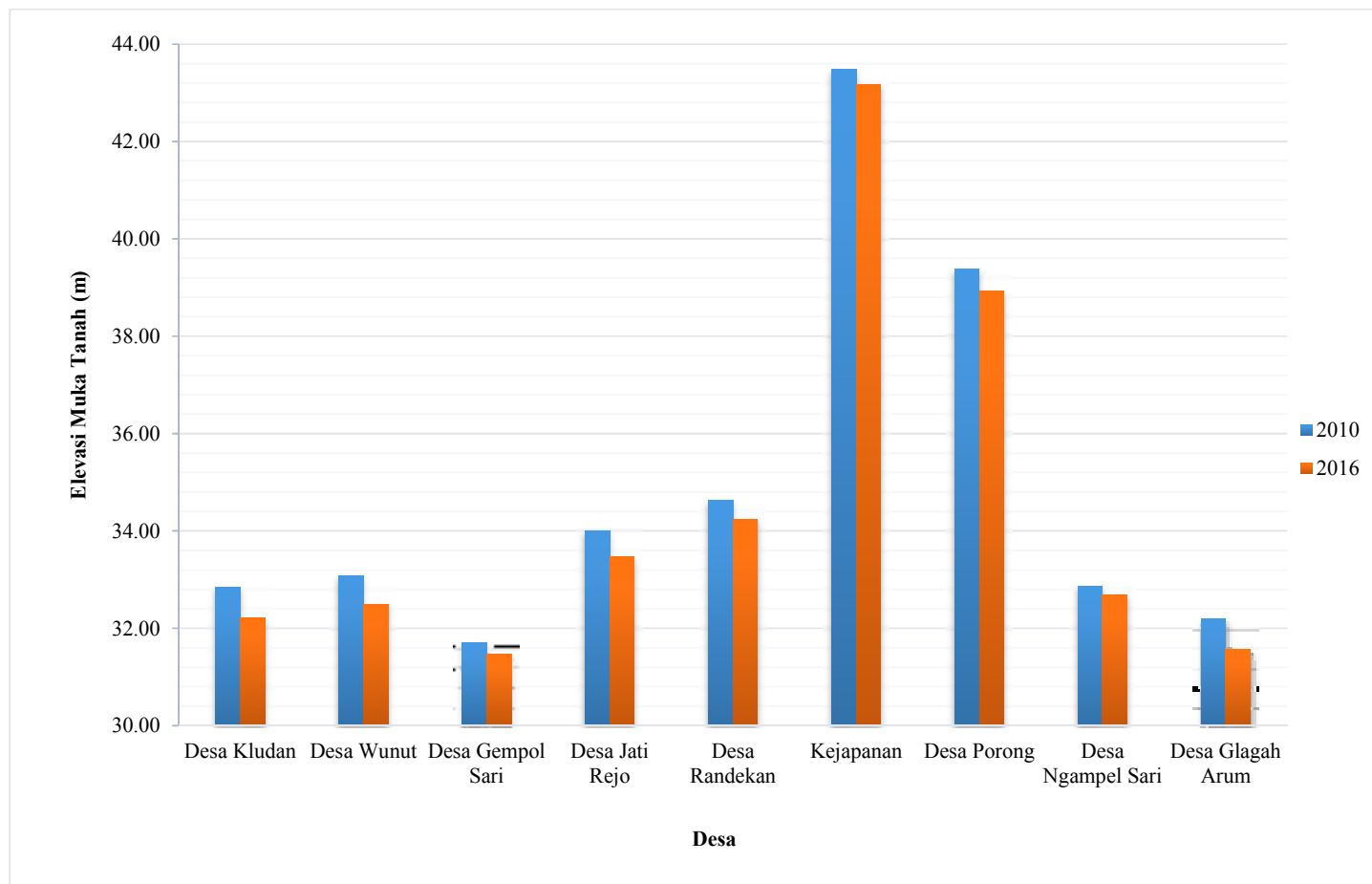
TaSebel 4.32. Kenaikan Muka Air Laut Global Tahun 1993-2017 (AVISO, 2017)

Tahun	GMSL TOPEX/JASON (mm)	GMSL Fluctuation (mm)	GMSL Trendline (mm) (y = 3.419x - 6855)	GMSL Trendline Fluctuation (mm)
1993	-37,78		-40,93	
1994	-36,43	1,34	-37,51	3,42
1995	-34,29	2,15	-34,10	3,42
1996	-30,63	3,65	-30,68	3,42
1997	-27,59	3,04	-27,26	3,42
1998	-22,20	5,39	-23,84	3,42
1999	-18,90	3,30	-20,42	3,42
2000	-17,39	1,51	-17,00	3,42
2001	-10,27	7,12	-13,58	3,42
2002	-6,61	3,66	-10,16	3,42
2003	-3,27	3,35	-6,74	3,42
2004	-1,29	1,98	-3,32	3,42
2005	3,53	4,82	0,10	3,42
2006	4,98	1,45	3,51	3,42
2007	5,75	0,77	6,93	3,42
2008	8,43	2,68	10,35	3,42
2009	13,45	5,02	13,77	3,42
2010	14,95	1,50	17,19	3,42
2011	14,24	-0,71	20,61	3,42
2012	24,99	10,74	24,03	3,42
2013	27,66	2,68	27,45	3,42
2014	31,12	3,46	30,87	3,42
2015	41,80	10,69	34,28	3,42
2016	44,69	2,89	37,70	3,42
2017	43,35	-1,34	41,12	3,42
Rata-rata =		3,38		3,42

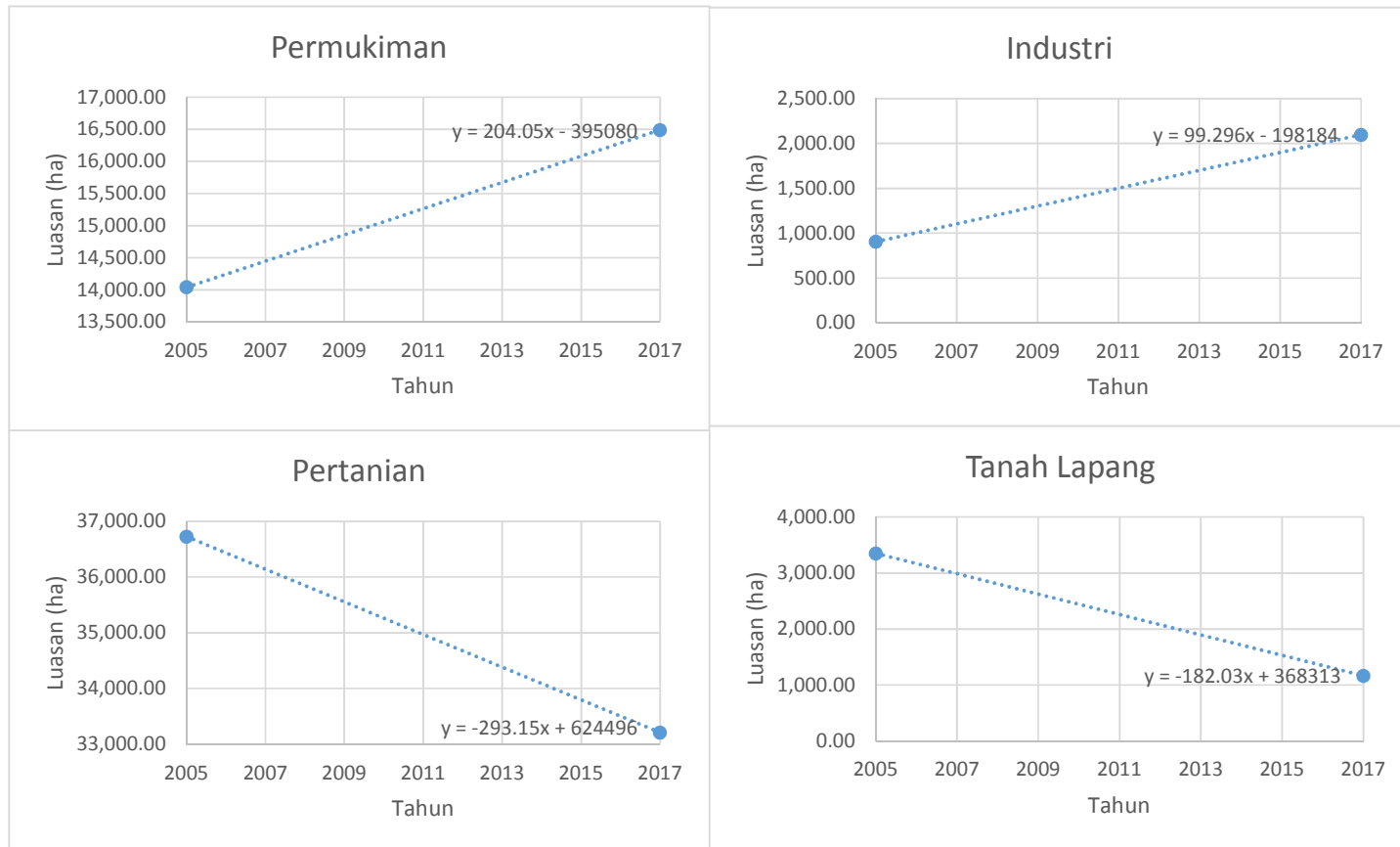
Keterangan: GMSL (*Global Mean Sea Level*)



Gambar 4.39. *Global Mean Sea Level Variation* dari tahun 1993-2017
(Sumber data: AVISO, 2017)



Tabel 4.32a. Grafik *Trendline* Perubahan Tutupan Lahan Kabupaten Sidoarjo tahun 2005-2017



Tabel 4.32b. Grafik *Trendline* Perubahan Tutupan Lahan Kabupaten Sidoarjo tahun 2005-2017

